



İSTANBUL AVRUPA YAKASINDA MEYDANA GELEN SİSMİK OLAYLARIN KAYNAK TÜRLERİNİN BELİRLENMESİ

Evrım YAVUZ*

İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Deprem Risk Yönetimi ve Kentsel İyileştirme Dairesi Başkanlığı, Deprem ve Zemin İnceleme Şube Müdürlüğü, Bakırköy, İstanbul

Anahtar Kelimeler

*Ayrımlaştırma Fonksiyonu,
Deprem,
İstanbul,
Patlatma,
Taş Ocakları.*

Öz

Nüfus, sanayi, yapılaşma ve turizm açısından ülkemizin en yoğun kenti olan İstanbul, tektonik olarak, güneyinde uzanan Ana Marmara Fayı'nın kontrolü altındadır. Endüstriyel hammadde ihtiyacı ise Avrupa Yakasındaki taş ocağı işletmeleri tarafından sağlanmaktadır. Dolayısıyla, bölgede hem doğal hem de yapay kaynaklı mikro-sismik aktivite gözlenmektedir. Olayların enerji içeriği, sismik istasyon sayısının/dağılımının yeterli olmaması ve dalga fazlarının doğru seçilememesi vb. nedenlerden dolayı da kaynak türleri tanımlanmasında hatalar gözükülebilmektedir. Daha güvenilir kaynak türü belirlenmesi ise ikincil analizler ile yapılmaktadır. Çalışmada, İstanbul Avrupa Yakası'nda 2007-2021 yılları arasında meydana gelen, büyüklüğü $M \leq 2.8$ olan 195 adet sismik olayın Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem ve Tsunami İzleme Merkezi (KRDAE-BDTİM) tarafından işletilen altı adet deprem istasyonunda kayıt edilen 270 adet dalga formu için kaynak türü belirleme analizleri yapılmıştır. Olayların kaynak türleri katalog bilgilerinden bağımsız şekilde, görsel olarak belirlenerek yola çıkmıştır. Düşey bileşen sismogramları kullanılarak, genlik oranı ve karmaşıklık yöntemleri uygulanmıştır. İstatistiksel sınıflandırma için Lineer ve Karesel Ayrımlaştırma Fonksiyonları kullanılarak, yöntem bazlı başarı oranları hesaplanmıştır. Sonuç olarak, 195 adet sismik olayın, 28 tanesinin deprem, 167 adetinin patlatma kaynaklı olduğu tespit edilmiştir. Daha güvenilir kaynak türü tanımlaması ile homojen kataloglar oluşturulmakta ve depremsellik, deprem tehlike analizleri gibi çalışmalarda araştırmacıların ikincil analizler ile zaman kaybı yaşamamasının önüne geçilebilmektedir.

IDENTIFICATION OF THE SOURCE TYPES OF THE SEISMIC EVENTS OCCURRED ON THE EUROPEAN SIDE OF ISTANBUL

Keywords

*Discriminant Function,
Earthquake,
Istanbul,
Blast,
Quarries.*

Abstract

Istanbul, the densest city of our country in terms of population, industry, construction, and tourism, is tectonically under the control of the Main Marmara Fault lying to the south. The need for industrial raw materials is provided by the quarry operations on the European side. Therefore, both natural and artificial micro-seismic activity is observed in the region. Errors may appear in the identification of source types due to the energy content, insufficient number/distribution of seismic stations, and inaccurate picking of wave phases etc. Secondary analyzes are needed to determine more reliable source types. In this study, source type determination analyzes were performed for 270 waveforms on 195 seismic events with a magnitude of $M \leq 2.8$ that occurred in the European Side of Istanbul between 2007 and 2021 were analyzed at six earthquake stations operated by Boğaziçi University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute Regional Earthquake and Tsunami Monitoring Center (KOERI-RETMC). The source types of the events were determined visually, independently of the catalog information. Amplitude ratio and complexity methods were applied by using vertical component seismograms. Method-based success rate was calculated by

* İlgili yazar / Corresponding author: evrim.yavuz@ibb.gov.tr, +90-212-455-3805

using Linear and Quadratic Discrimination Functions for statistical classification. As a result, for 195 seismic events, 28 earthquakes and 167 quarry blasts were determined. With a more reliable source type identification, homogeneous catalogs could be created and researchers could prevented time loss by performing secondary analysis in studies such as seismicity and earthquake hazard analysis.

Alıntı / Cite

Yavuz, E., (2023). İstanbul Avrupa Yakasında Meydana Gelen Sismik Olayların Kaynak Türlerinin Belirlenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(1), 279-297.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

E. Yavuz, 0000-0002-9175-8952

Makale Süreci / Article Process

| | |
|---|------------|
| Başvuru Tarihi / Submission Date | 19.09.2022 |
| Revizyon Tarihi / Revision Date | 02.11.2022 |
| Kabul Tarihi / Accepted Date | 08.11.2022 |
| Yayın Tarihi / Published Date | 27.03.2023 |

IDENTIFICATION OF THE SOURCE TYPES OF THE SEISMIC EVENTS OCCURRED ON THE EUROPEAN SIDE OF ISTANBUL

Evrım YAVUZ[†]

Istanbul Metropolitan Municipality, Department of Earthquake Risk Management and Urban Improvement, Directorate of Earthquake and Soil Investigation, Bakirkoy, Istanbul

Highlights

- Obtaining reliable earthquake catalogs for small seismic events ($M \leq 2.8$)
- Performing amplitude ratio, complexity methods and Linear, Quadratic Discriminant Functions
- Focusing on artificial and natural seismic events

Graphical Abstract

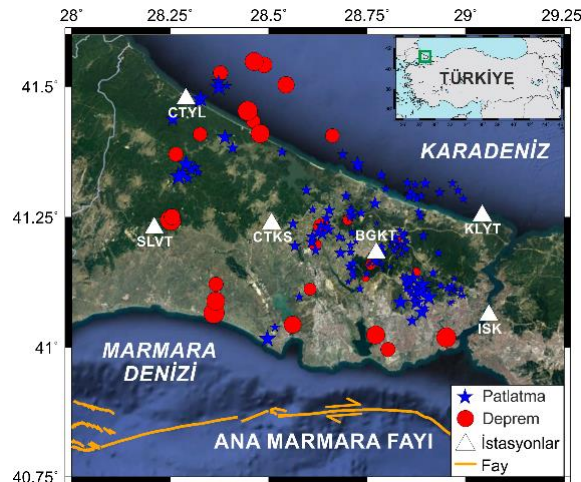


Figure. Kaynak türü dağılımı (Source type distribution)

Purpose and Scope

Refining the earthquake catalogs by reliably identifying the existing micro-seismic activity on the European Side of Istanbul.

Design/methodology/approach

In the study, more detailed source type identification analyzes were performed for 270 waveforms on 195 seismic events by using amplitude ratio, complexity methods and Linear, Quadratic Discriminant Functions.

Findings

Seismic-station-based discrimination functions and graphs were obtained. More reliable source type identification was performed for 195 seismic events.

[†] Corresponding author: evrim.yavuz@ibb.gov.tr, +90-212-455-3805

Practical implications

KOERI-RETMC needs to revise the earthquake catalogs reliably and should perform detailed analyzes to identify the source types of micro-seismic events.

Social implications

The settlement area of Istanbul is increasing day by day and accordingly, these areas are expanding towards the northern parts of the province. This study could contribute to both urban planning and environmental impact assessment in areas where quarries are common.

Originality

For six seismic stations operated by KOERI-RETMC, discrimination functions and graphs have been obtained to identify the source types for $M \leq 2.8$ seismic events on the European Side of Istanbul and its vicinity.

1. Giriş (Introduction)

Geçmişten günümüze birçok medeniyete ev sahipliği yapmış olan İstanbul, nüfus, sanayi, yapılaşma, alt ve üst yapı mimarisi vb. konularda ülkemizin en yoğun aktivasyonuna sahip olan kadim bir şehirdir. İki kıtaya ev sahipliği yapan bu şehir, son yıllarda havalimanı inşaatı, otoyol yapımları, yüksek katlı binaların sayısının artması ve genişleyen yapılaşmanın oldukça fazla olmasından dolayı da mega şehir olarak lanse edilmektedir. Ayrıca gece/gündüz ayırt etmeksizin hem mevcut yaşantısından hem de yerli ve yabancı turistik ziyaretlerden dolayı da kozmopolit unvanına sahiptir.

Kentin yersel hareketinin kontrolü, hemen güneyindeki Marmara Denizi içerisinde uzanan Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun kuzey kolu olan ve Ana Marmara Fayı olarak adlandırılan tektonik elemandan kaynaklıdır. 24 mm/yıl olan sağ yanal hareketinden dolayı büyük depremler üretebilen, Anadolu ve Avrasya Levhaları arasında transform bir fay olan ve basamaklı yapısından kaynaklı ikincil kırıklara sahip olan, deniz içerisinde derin havzaları barındıran bir tektonik yapıdadır (Barka, 1992; McClusky vd., 2003; Şengör vd., 2005; Reilinger vd., 2006). Bu tektonik karmaşada, sadece büyük depremler değil yerel anlamda da mikro sismik aktivite de sürekli olarak kayıtlara geçmektedir. Aynı zamanda yine küçük magnitüdlere sahip taş ocağı patlatmaları da sürekli olarak, özellikle Avrupa Yakasında Arnavutköy, Çatalca ve Eyüpsultan ilçelerinde işletilen taş ocağı işletmeleri tarafından kaya ortamlarda sert malzemeyi ayırt etmek amacıyla dinamit, ANFO, vb. patlayıcı veya yanıcı madde kullanılarak yapılmaktadır. Sadece taş ocaklarında değil, metro kazılarında, havalimanı inşaatlarında, otoyol yapımlarında ve üst yapılaşmalarda sağlam malzemenin ayıklanması amacıyla kontrollü dinamik patlatmalarına başvurulmaktadır. Böylece küçük magnitüdü doğal veya yapay sarsıntılar sismoloji merkezlerinde detaylı analizlere tabi tutulmadan hatalı kaynak türü ile kataloglanabilmektedir. Maalesef, katalog taramasına başvuru sismoloji çalışmalarında doğru katalog ile yola çıkmak için, araştırmacıların ikincil bir çalışma yapması gerekmektedir. Doğal ve yapay sarsıntılar birbirinden ayırabilmek için literatürde birçok farklı yöntem kullanılmakta olup özellikle genlik oranı ve karmaşıklık yöntemlerinden elde edilen ayırma fonksiyonları ile hızlı, kolay, pratik ve yüksek başarı oranına sahip şekilde kaynak türü tanımlaması yapılabilmektedir (Wüster, 1993; Gitterman ve Shapira, 1993; Horasan vd., 2009; Yavuz vd., 2019a).

Kazakistan'da sismik olayların kaynak türlerini belirlemek amacıyla zaman-frekans ortamı çalışmaları yapılmıştır (Hedlin vd., 1989). Hedlin vd. (1990)'da ise koda dalgası azalımı ile doğal ve yapay sarsıntılar ayırılmıştır. Ardından Su vd. (1991)'de ise yine koda dalgaları ve güç spektrumları kullanılarak taş ocağı/maden patlatmaları depremlerden ayırt edilmeye çalışılmıştır. Genlik oran yöntemi ise ilk olarak kimyasal patlatma ile doğal kaynaklı olayları birbirinden ayırt edebilmek amacıyla Wüster (1993) tarafından kullanılmıştır. Gitterman ve Shapira (1993) ise karmaşıklık ve spektral analiz yöntemleri kullanılarak su altında meydana gelen patlatma kayıtlarını ayırt etmişlerdir. Beck ve Wallace (1997), genlik oranı ve karmaşıklık yöntemlerini Güney Amerika'daki deprem ve patlatma kayıtlarının üzerinde kullanmışlardır. İsrail'in sismik ağı üzerinden Orta Doğu için doğal ve yapay sarsıntılar genlik oranı ile sınıflandırılırken; Koch ve Föh (2002)'de aynı yöntemi Pg ve Sg dalgalarını kullanarak Almanya ve Çek Cumhuriyeti sınırındaki Vogtland bölgesinde uygulamışlardır. Genlik oranı ve karmaşıklık yöntemleri bir arada kullanılarak kısa-periyodlu cihazlarda kaydedilmiş sismogramlar Arai ve Yoshida (2004) tarafından analiz edilmiştir. Türkiye'de ise İstanbul (Horasan vd., 2009), Muğla (Sertçelik ve Başer, 2010), Trabzon (Kartal ve Horasan, 2011), Konya (Öğütçü vd., 2011), Kütahya (Kekovalı vd., 2012), Sakarya (Budakoğlu ve Horasan, 2018), Manisa (Ceydilek ve Horasan, 2019), Yalova-Bursa (Yavuz vd., 2019a), Doğu Marmara (Sertçelik vd., 2020), Edirne (Tan vd., 2021) ve Seydişehir-Konya (Yavuz, 2022) bölgelerinde genlik oranı ve karmaşıklık yöntemleri kullanılarak doğal ve yapay sarsıntılar ayırma çalışmaları yapılmıştır. Süreç içerisinde birçok yöntem üzerinden de kaynak türü belirleme çalışmaları yapılmıştır. P_n/S_n , P_n/L_g ve bu dalga fazlarının spektral oranları kullanılarak Norveç'te bir kaynak türü ayırma çalışması yapılmıştır (Baumgard ve Young, 1990).

Güç yoğunluğu spektrumu ve koda azalım oranları kullanılarak Aki (1995) tarafından doğal ve yapay sarsıntılar analiz edilmiştir. ABD'nin Wyoming bölgesinde ise yüksek frekanslı dalgaların spektrogramları üzerinden yapay sarsıntılar belirlenmeye çalışılmıştır (Carr ve Garbin, 1998). Yapay sinir ağları, makine öğrenmesi ve derin öğrenme gibi bilgisayar tabanlı algoritmalar kullanılarak da kaynak türü belirleme çalışmaları yapılmıştır (Ursino vd., 2001; Kuyuk vd., 2011; Li vd., 2018). *P* ve *S* dalgalarının köşe frekansları hesaplanarak kaynak türü belirleme analizleri de yapılmıştır (Allmann vd., 2008; Ataeva vd., 2017). Dalgaların frekans içerikleri üzerinden spektral analizler ile de doğal ve yapay sarsıntıların ayırıştırılmaya çalışılmıştır (Kolaj, 2018; Yavuz vd., 2019b; Korrat vd., 2022).

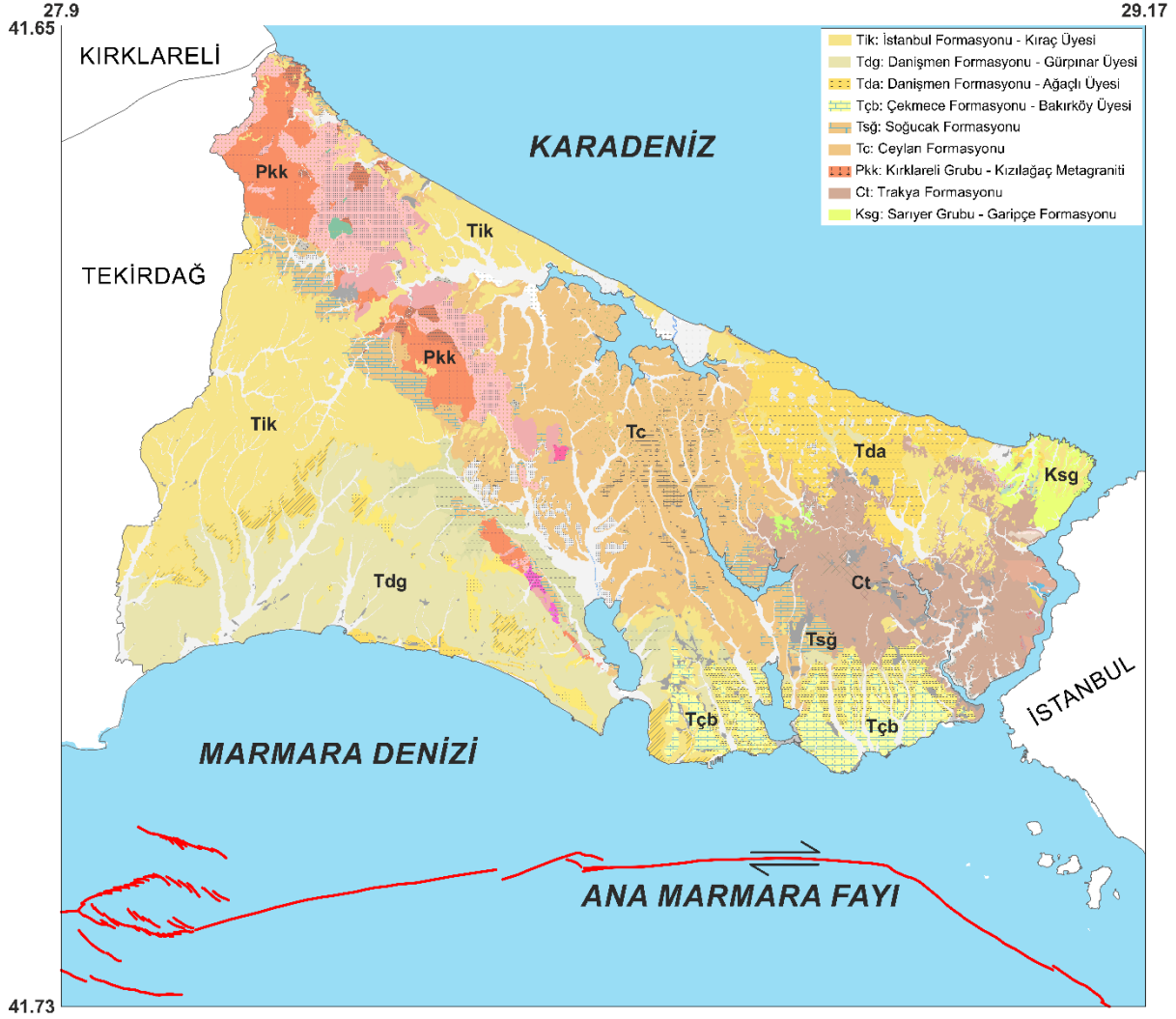
Çalışmada, İstanbul Avrupa Yakasında meydana gelen magnitüdü $M \leq 2.8$ olan Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem ve Tsunami İzleme Merkezi (KRDAE-BDTİM) tarafından işletilen altı sismik istasyonda kaydedilen 195 olaya ait 270 adet dalga şekline genlik oranı ve karmaşıklık analizleri yapılmıştır. İki yöntemin değerlendirilebilmesi için de Lineer ve Karesel Ayırıştırma Fonksiyonları (LAF, KAF) kullanılmış olup söz konusu olayların kaynak türleri belirlenmeye çalışılmıştır. Böylece kataloglarda tanımlanan olayların kaynak türlerinin sağlıklı bir şekilde tanımlanabilmesi için ön çalışma başlatılmıştır. Ayrıca güvenilir kataloglar elde edilmesi ile de sismoloji, sismotektonik, depremsellik, afet araştırmaları vs. çalışmalarda ikincil analizlerin yapılmasına ihtiyaç olmayacak olup, araştırmacılar için zaman tasarrufunun ortaya çıkarılması hedeflenmektedir.

2. Bölgenin Tektonik ve Jeolojik Özellikleri (The Tectonic and Geological Features of the Region)

Bölge tektonik olarak İstanbul Zonu adı verilen, Avrasya Levhası üzerinde konumlanmaktadır. Güneyinde, Marmara Denizi'nin içerisinde, doğu-batı doğrultulu şekilde uzanan sağ yanal doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun kuzey kolu olan Ana Marmara Fayı'nın kontrolü altındadır (Emre vd., 2013) (Şekil 1). İstanbul Avrupa Yakasının söz konusu faya olan uzaklığı 10-70 km arasında değişmekte olup, olası bir depremde gözlenecek en büyük ivme değerleri de 0.189-0.566 g arasında değişmektedir (AFAD, 2018). Özellikle Avcılar, Büyükçekmece, Beylikdüzü ve Küçükçekmece gibi güney sahilleri olmak üzere, Arnavutköy ve Eyüpsultan gibi kuzey sahillerinde de heyelan aktivitesi yoğunlukla gözlenmektedir (İBB, 2020). Ayrıca, deprem-zemin-yapı ilişkisinin detaylı olarak irdelenmesi gereken bölgede deprem dalgalarının zemin üzerindeki büyütme etkisinin de gözlendiği (Örn: 1999 İzmit Depremi-Avcılar hasarı) böylece sismik dalgaların zemin kaynaklı olarak yapılar üzerindeki etkileri gözler önündedir (Tezcan vd., 2002; Dalgıç, 2004; Şen, 2007). Tektonik olarak İstanbul Zonu'nun sınırını oluşturan bölgede Ana Marmara Fayı'na bağlı olarak İstanbul il alanının karasasında ise kısmen lokal bazda bazı faylanma çizgisellikleri önerilmektedir (Okay ve Tüysüz, 1999; Ergintav vd., 2011; Tur vd., 2015). Ayrıca Karadeniz'de, tanımlanmayan fakat sahil şeridinde paralel şekilde gözüken basen üzerinde küçük-orta büyüklükte depremler kayıtlara geçmiştir. Böylece gerek Marmara Denizi ve Karadeniz'de gerekse de karasal alanda mikro ölçekte tektonik aktivitenin varlığından da söz edilmektedir.

İstanbul Avrupa Yakasının jeolojik yapısına bakıldığında; batısında Permiyen yaşlı Kızılağaç Metagraniti (Pkk) ile birlikte Üst Oligosen-Orta Miyosen yaşlı çakıl ve kumların (Tik), güneybatısında Orta Oligosen-Alt Miyosen yaşlı kilaşı ve kumtaşlarının (Tdg), güneydoğusunda Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı kilaşı ve kireçtaşlarının (Tçb), doğusunda Üst Kretase yaşlı volkanik andezit ve bazaltların (Ksg), orta kısmında Orta/Üst Eosen yaşlı kireçtaşlarının (Tsğ), orta ve kuzey kısımda ise Üst Eosen-Oligosen yaşlı kireçtaşlarının (Tc), Alt Karbonifer yaşlı kumtaşı, çakıtaşı ve kireçtaşlarının (Ct) ve Orta Oligosen-Alt Miyosen yaşlı kömür arakatlı kum, çakıl ve killerin (Tda) hakim olduğu görülmektedir (İBB, 2011) (Şekil 1).

İl genelindeki malzeme ihtiyacından kaynaklı olarak özellikle bölgenin orta ve kuzey kısmında yoğun olarak gözlenen kireçtaşlarının egemenliğinden kaynaklı taş ocakları işletmelerinin de yaygınlaştığı göze çarpmaktadır. Söz konusu ocak işletmelerinde ise malzeme elde etmek amacıyla patlatmaların yapıldığı, bunların ise küçük-magnitüdü sismik olaylara neden olduğu gözler önündedir. Ayrıca bu olaylar, sismoloji merkezleri tarafından deprem kataloglarına da işlenmektedir.



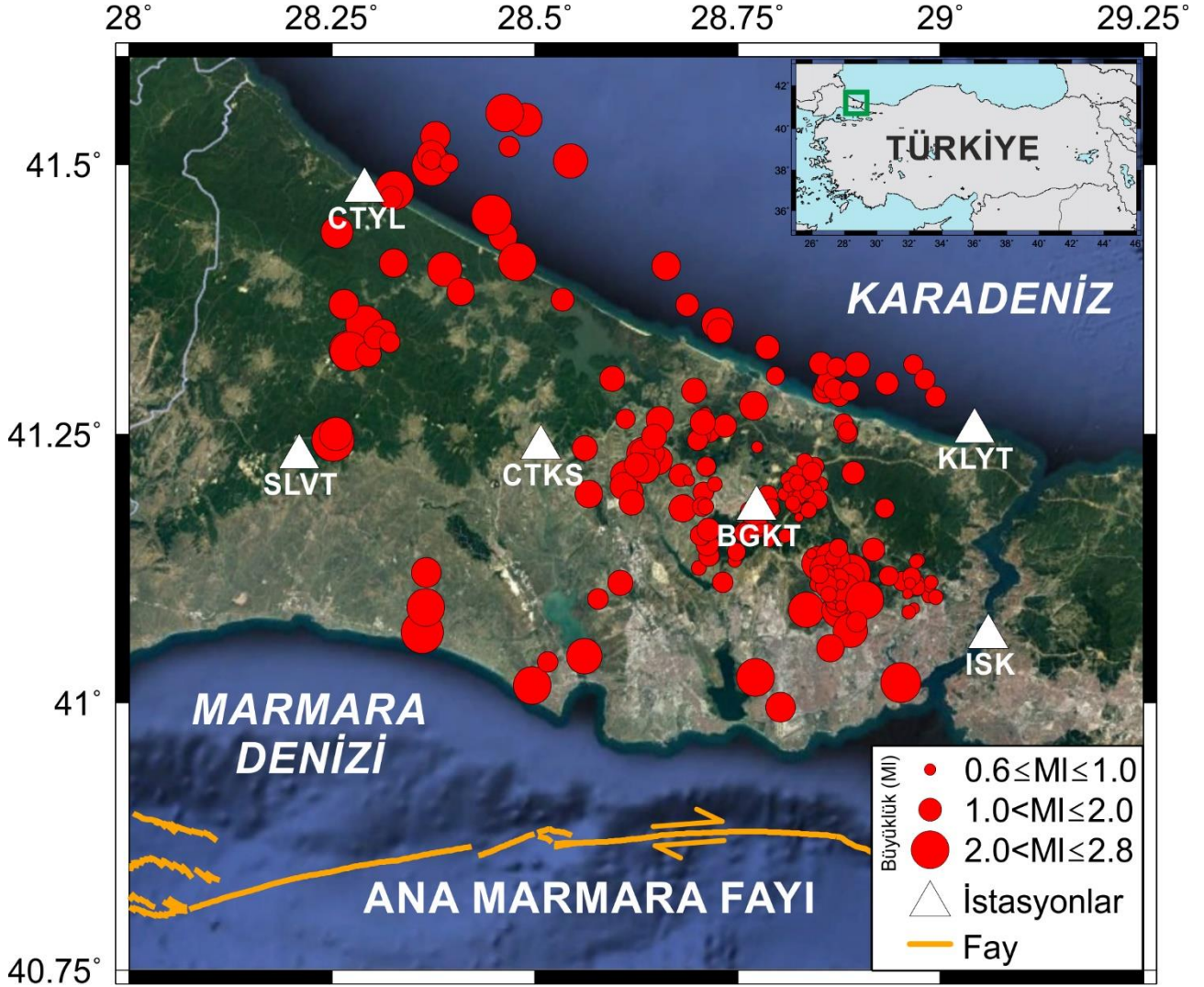
Şekil 1. İstanbul ili Avrupa Yakasının jeolojisi ve civarının tektonik elemanları. Jeolojik birimler, İBB (2011)'den alınarak basitleştirilmiştir. (Geology of the European Side of Istanbul and tectonic elements of its surroundings. Geological formations have been simplified from İBB, 2011)

3. Veri Özellikleri (Data Set)

Çalışmada, KRDAE-BDTİM tarafından işletilen altı adet zayıf yer hareketi istasyonlarının kaydettiği sismik sinyaller için ayırma analizleri uygulanmıştır (Tablo 1, Şekil 2). Tüm istasyonlar üç bileşenli hız-ölçer sensöre sahip olup; söz konusu sismoloji merkezi tarafından, örnekleme aralığı saniyede 100 örnek olacak şekilde ayarlanmıştır. İstasyonların kuruluş zamanları dikkate alındığında aynı olayın tüm istasyonlarda gözlenmesi amacıyla 2007 yılından sonraki olaylar kullanılmıştır. Böylece, 2007-2021 yılları arasındaki 14 yıllık süreçte İstanbul ilinin Avrupa Yakasında kataloglanmış düşük gürültü seviyesine sahip, sinyal kalitesi yüksek, sayısallaştırma hatası olmayan ve faz okumalarının sağlıklı şekilde yapılabildiği 195 sismik olaya ait 270 adet düşey bileşen sismogramları KRDAE-BDTİM veri tabanından indirilmiştir (Şekil 2). Zaman sürecinin uzun tutulması ile farklı periyotlarda çalışan muhtemel taş ocağı sahalarına konsantre olunurken yasal yolların dışında meydana gelebilecek patlatmaların olabilme ihtimalinden dolayı da tüm saat dilimleri incelenmiştir. Uzun dönem içerisinde kayıtlara geçen çok sayıda patlatma kaydı mevcuttur. Ayırma fonksiyonlarının sağlıklı bir şekilde elde edilebilmesi için az sayıda olan mikro deprem aktivitesi göz önünde bulundurularak, farklı konumlardaki patlatma kayıtları da önemsenerek, benzer konumlardaki yapay sarsıntılarının sayısı azaltılmıştır. Olayları kayıt eden istasyon sayısının ve azimutal dağılımının yetersiz kalması, kullanılan kabuk modelinin uyumsuz olabileceği, çözüm algoritmasının değişkenlik gösterebileceği ve özellikle faz okumalarındaki hatalardan kaynaklı, mikro-sismik olaylar için konum ve derinlik hataları ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada, olayların konumları ve derinlikleri üzerinden kaynak türü tanımlaması yapılmamıştır. Fakat konum hatası potansiyelinin yüksek olduğu kıyı sınırına yakın deniz için sismik olaylar, sonuçların tüm çalışma sahasını kapsayabilmesi açısından seçilmiştir.

Tablo 1. Deprem istasyonlarına ait bilgiler (The informations of the seismic stations)

| Kodu | Enlem (°K) | Boylam (°D) | Yükseklik (m) | Kuruluş Tarihi |
|------|------------|-------------|---------------|----------------|
| ISK | 41.0615 | 29.0592 | 85 | 01.01.1997 |
| KLYT | 41.2530 | 29.0420 | 30 | 18.05.2006 |
| BGKT | 41.1810 | 28.7730 | 80 | 29.05.2007 |
| SLVT | 41.2288 | 28.2098 | 180 | 01.08.2007 |
| CTKS | 41.2373 | 28.5072 | 47 | 28.09.2007 |
| CTYL | 41.4760 | 28.2897 | 77 | 29.09.2007 |

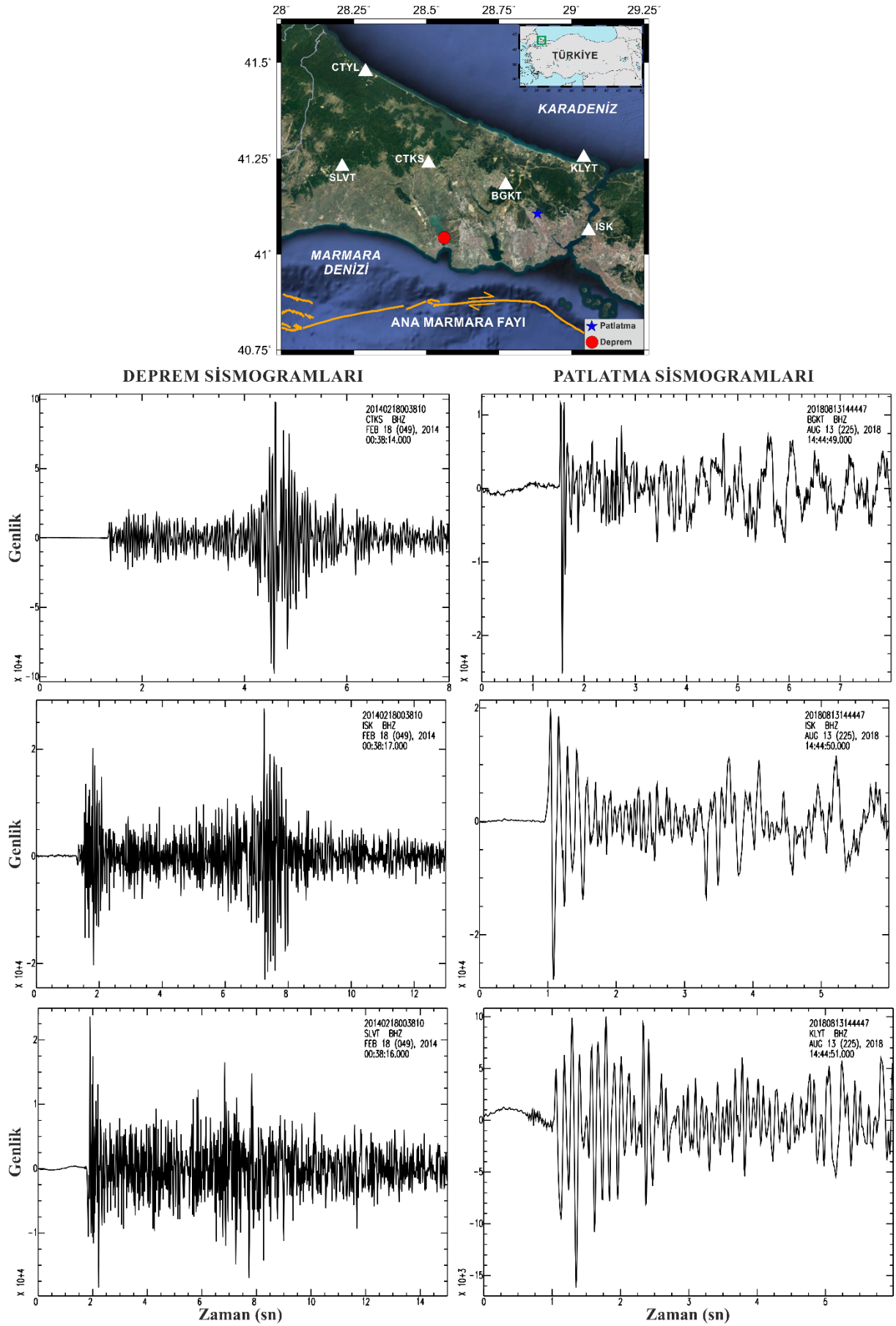


Şekil 2. Olayların dış merkez dağılımları ve deprem istasyonlarının konumları
(The epicenter distribution and the locations of the seismic stations)

4. Yöntem (Method)

Altı adet istasyon tarafından kayıtlara geçen 195 adet olaya ait 270 adet düşey bileşen sismogramları genlik oranı ve karmaşıklık yöntemleri ile analiz edilmiştir. Sınıflandırma aşamasında ise Lineer ve Karesel Ayrıştırma Denklemleri (LAF, KAF) kullanılmıştır.

Ayrıştırma analizlerinin yapılması için öncelikle sismik olayların kaynak türlerine ait bir bilgi girişi yapılması gerekmektedir. Dalga şekillerindeki *P* ve *S* dalga genlikleri, *P* dalgası ilk hareket yönü, koda dalgası azalımı ve *R_g* dalga fazlarının gözlenmesi gibi görsel olarak olayların kaynak türleri tanımlanmıştır. Yasal olmayan patlatmaların olabileceği ihtimalinden dolayı oluş zamanları, mikro büyüklükteki olaylar olduğu için de konum ve derinlik gibi parametrelerde ortaya çıkabilecek muhtemel hatalar ihmal edilmiştir. Böylece herhangi bir olaya ait dalga şeklinden doğal veya yapay kaynaklı sarsıntı olduğu görsel olarak belirlenmiştir (Şekil 3). Bu görsel tayin işlemine "ilk tahmin" adı verilmektedir. KRDAE-BDTİM kataloglarında kaynak türü belirlenmesi işleminin herhangi bir sayısal analiz yapılmadan gözleme bağlı ve alansal olarak yapıldığı bilinmektedir. Böylece, bu çalışmada kaynak türlerinin ilk tanımlamalarının yapılması ile daha güvenilir bir yol izleneceği ön görülmüştür.



Şekil 3. 18.02.2014 00:38:10.39 depremine ($M=2.4$) ve 13.08.2018 14:44:47.63 patlatmasına ($M=2.0$) ait düşey bileşen sismogramları ve olayların harita üzerindeki konumları (Vertical component seismograms of 18.02.2014 00:38:10.39 earthquake ($M=2.4$) and 13.08.2018 14:44:47.63 quarry blast ($M=2.0$) and their locations on the map)

Genlik oranı yöntemi ile düşey bileşen sismogramında gözlenen en yüksek P ve S dalga genliklerinin birbirlerine oranı ile en yüksek S dalga genlik değerinin logaritması alınmaktadır. Bu durum deprem kayıtlarında S dalga genliklerinin P dalga genliklerine nazaran daha yüksek genlikli olması ile yapay sarsıntılarda da durumun tam tersinin gözükmesi prensibi üzerine geliştirilmiştir (Baumgard ve Young, 1990; Wüster, 1993).

Karmaşıklık yönteminde ise yine düşey bileşen sismogramı, P dalgası ile S dalgası varış zamanı arası birinci pencere (t_0 t_1), belirtilen sürenin S dalgası varış zamanından sonrasına eklenmesi de ikinci pencere (t_1 t_2) olarak iki ayrı pencereye ayrılır. Her iki pencerede bulunan sinyallerin güçleri $s^2(t)$ hesaplanarak birbirine oranlanır ve bu değere karmaşıklık-C değeri adı verilir (Eşitlik 1) (Gitterman ve Shapira, 1993; Arai ve Yoshida, 2004). Sonrasında ise pencerelerin bütününe yüksek ve alçak olmak üzere iki ayrı band geçişli filtre (h_1 - h_2 , l_1 - l_2) uygulanarak sinyalin spektral genliği $a(f)$ hesaplanır. Bu çalışmada kullanılan sismik olayların enerjileri ve kayıt edildikleri istasyona olan uzaklıklarından dolayı l_1 , l_2 , h_1 ve h_2 sırasıyla 1, 5, 5, 10 Hz olarak optimum şekilde belirlenmiştir. İki ayrı filtre ile hesaplanan spektral genlikleri birbirine oranlanır ve spektral oran-Sr adı verilen değer elde edilir (Eşitlik 2) (Gitterman ve Shapira, 1993; Arai ve Yoshida, 2004). Doğal kaynaklı olaylarda sismik dalgaların daha uzun bir zaman penceresinde değişken frekans içeriğine ve genliklere sahip olduğu bilinirken, yapay kaynaklı olaylarda bu zaman aralığının daha dar olduğu, frekansların ve genliklerin daha spesifik kaldığı gözlenmiştir (Beck ve Wallace, 1997; Yılmaz vd., 2013; Yavuz vd., 2019a; Sertçelik vd., 2020).

$$C = \int_{t_1}^{t_2} s^2(t) dt / \int_{t_0}^{t_1} s^2(t) dt \quad (1)$$

$$Sr = \int_{h_1}^{h_2} a(f) df / \int_{l_1}^{l_2} a(f) df \quad (2)$$

Genlik oranı ve karmaşıklık yöntemlerinden elde edilen parametrelerin "ilk tahmin" bilgisi ile değerlendirilmesi yapıldığında ayırmaştırmanın gerçekleştirilebilmesi için bazı istatistiksel yaklaşımlara ihtiyaç vardır. Bu çalışmada ise Lineer ve Karesel Ayırmaştırma Fonksiyonları (LAF, KAF) kullanılarak sismik olayların sınıflandırılması yapılmıştır. Ayırmaştırma analizleri, normal dağılımlar ile oluşturulmuş farklı gruplardaki verilerin sınıflandırılması amacıyla kullanılmaktadır (Fisher, 1936; Seber, 1984; Krzanowski, 1988). Örnek gruplarını en iyi şekilde ayıran ve lineer veya karesel olarak elde edilen denklemler aracılığıyla değişken bölgeleri belirlemek amacıyla kullanılan fonksiyonlar regresyon analizi kullanarak iki veri grubunu sınıflamaktadır. LAF, tüm veri gruplarına ait tek bir kovaryans matrisi sağlarken, KAF aynı kovaryans matrisini her bir grup için sağlamaktadır. Kovaryans matrisi için daha fazla esneklik sağlayan KAF, LAF'a göre daha iyi uyum sağlayıcı niteliindedir. Böylece KAF'ın LAF'a göre daha karmaşık veri setlerini temsil ederek sınır denklemini ürettiği belirtilmektedir (Frank ve Hlavac, 2004; Kuyuk vd., 2014; Tüysüz ve Yaylalı, 2014). LAF ve KAF'a ait matris fonksiyonlarının gösterimi Eşitlik 3 ve 4'te sırasıyla verilmektedir.

$$F_{LAF} = K + L(1) * x + L(2) * y \quad (3)$$

$$F_{KAF} = K1 + [x \ y] * L1 + \sum \{ ([x \ y] * Q1) * [x \ y] \} \quad (4)$$

Denklemlerde K , sınır denkleminin sabit terimi; L ve Q ise sınır denkleminin sırasıyla lineer ve karesel katsayılarıdır.

5. Bulgular (Results)

Bu çalışmada, İstanbul Avrupa Yakası'nda 2007-2021 yılları arasında meydana gelen 195 adet $M \leq 2.8$ büyüklüğünde olaya ait KRDAE-BDTİM tarafından işletilen altı adet deprem istasyonunda kayıtlara geçen 270 adet dalga şekli için genlik oranı ve karmaşıklık yöntemleri ile Lineer ve Karesel Ayırmaştırma Fonksiyonları kullanılarak ayırmaştırma analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayırmaştırma fonksiyonlarının güvenli bir şekilde elde edilebilmesi için, istasyon bazlı olarak iki farklı sınıfa (deprem, patlatma) ait olayların dalga şekillerinin temiz ve operasyonel bir hataya sahip olmayan ve sayı olarak optimum düzeyde dağılımı ön planda tutularak görsel olarak ilk tahmin ile başlangıç kaynak türleri tanımlaması yapılmıştır. Ardından istasyon bazlı olarak iki farklı yöntem ve istatistiksel analiz kullanılarak ayırmaştırma analizleri yapılmaya çalışılmıştır.

KAF'ın LAF'a göre kovaryans matrisi için daha fazla esneklik sağlamasından dolayı SLVT istasyonu hariç diğer beş istasyon için KAF'ın daha başarılı sonuçlar ortaya koyduğu görülmüştür. BGKT istasyonundan kaydedilen verilere uygulanan genlik oranı yönteminin LAF analizi sonuçlarında %75.41 ile en düşük başarı oranı elde edilmiştir. Buna karşılık CTYL istasyonundaki dalga şekillerine uygulanan karmaşıklık analizi yönteminin KAF analizi sonuçları ise %100 ile en başarılı olarak hesaplanmıştır (Tablo 2).

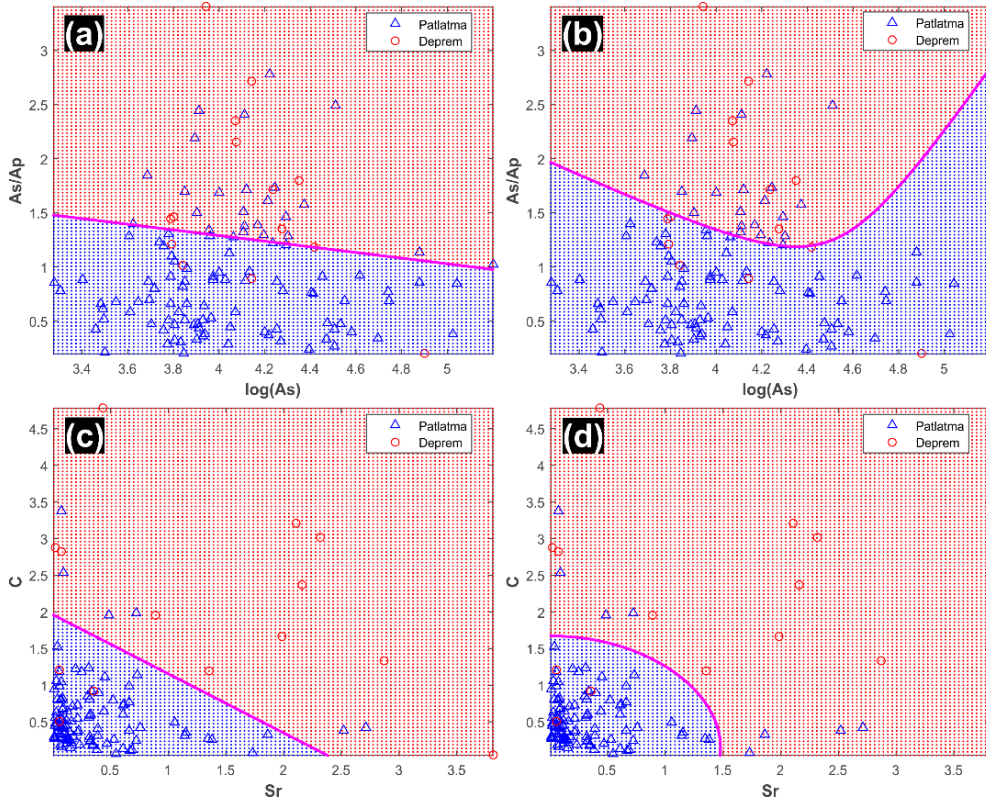
Yöntem bazlı bakıldığında ise karmaşıklık yönteminin genlik oranı yöntemine göre daha başarılı sonuçlar sunduğu yine SLVT istasyonu hariç diğer beş istasyon için görülmüştür. Genlik oranı yönteminin başarı oranlarının %75.41 ile %88.89 arasında, karmaşıklık yönteminin ise %90.91 ile %100 arasında değiştiği hesaplanmıştır. Genlik oranı

yönteminde dalga şekli üzerinde sadece zaman ortamında hesaplama yapılırken, karmaşıklık yönteminde sinyalin frekans ortamdaki enerjisi de hesaplanmaktadır. Böylece frekans ortamı analizleri ile başarı oranının da arttığı gözlenmiştir (Tablo 2).

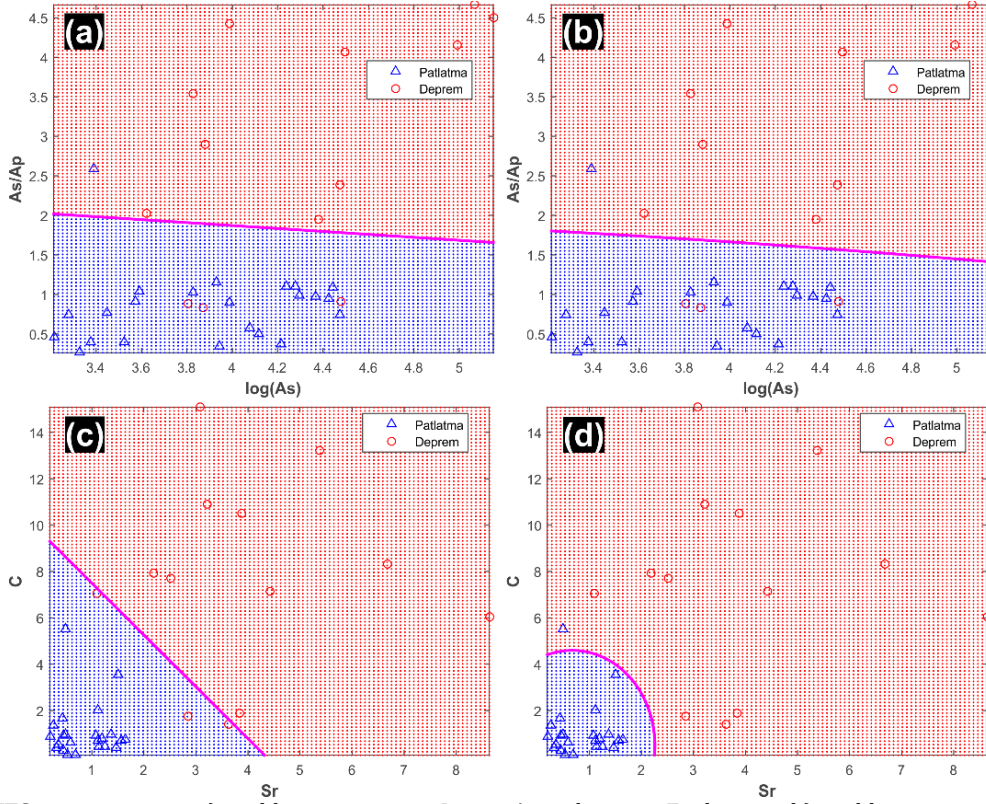
Patlatma sinyallerinin depremlere göre daha başarılı sonuçlarla ayrılaştırıldığı görülmektedir. Bu durum veri sayısı ihmal edildiğinde özellikle kısa dış merkez uzaklıklarında deprem dalgalarının patlatmalara göre daha karmaşık bir karakteristiğe sahip olmasından kaynaklıdır (Tablo 2).

SLVT istasyonunun kaydetmiş olduğu dalga şekilleri üzerinden yapılan analizlerde ise hem genlik oranı yönteminin karmaşıklık yöntemine göre hem de LAF'ın KAF'a göre daha başarılı sonuçlar ortaya koyduğu görülmüştür. Bu durum diğer beş istasyondan elde edilen sonuçlara göre tam ters bir durum ortaya koymaktadır. Öncelikle toplam veri sayısı diğer istasyonlardakinden daha azdır ve ilk tahmine göre deprem sayısının patlatma sayısına göre daha fazla olduğu görülmektedir. Patlatma sinyalleri, kısa dış merkez mesafelerinde daha sade karakteristiğe sahipken uzaklığın artması ile yer içi heterojenitesi, dalgaların girişimi, atenüasyon vb. nedenlerden dolayı da karmaşık bir içerik ortaya çıkarmaktadır. Depremler ise kaynak yapısı itibarıyla çoğu zaman karmaşık bir mekanizmaya sahiptir. Böylece gerek veri sayısının azlığından gerekse de dalga şekillerindeki muhtemel karmaşıklıktan dolayı da söz konusu istasyondaki sonuçların diğer istasyonlardan farklı çıktığı önerilmektedir.

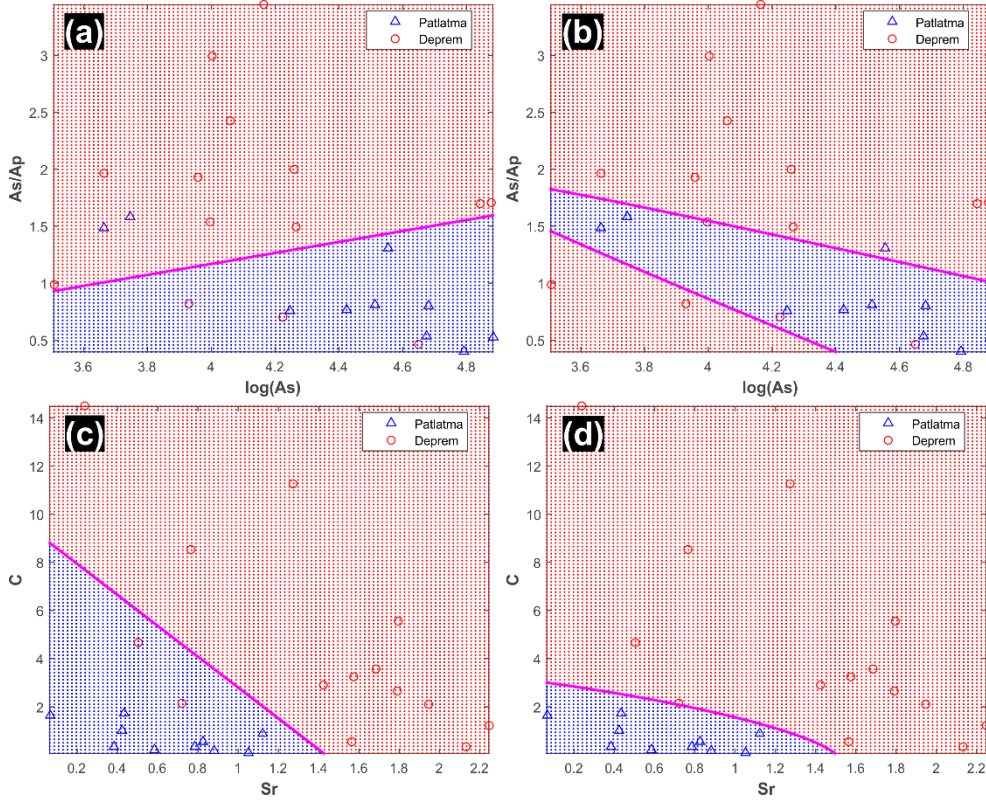
Elde edilen ayrılaştırma fonksiyonları istasyon bazlı olarak Şekil 4-9 arasında, analiz sonuçlarının sayısal bilgileri ise yine istasyon bağımlı olarak Tablo 2'de gösterilmektedir.



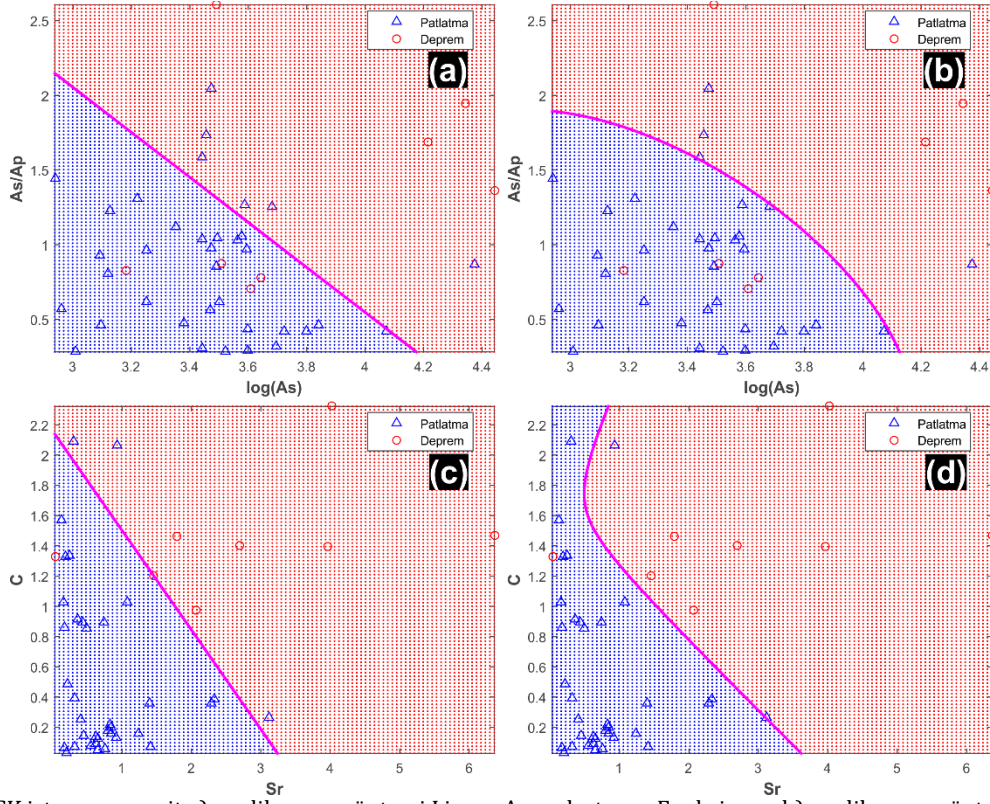
Şekil 4. BGKT istasyonuna ait a) genlik oranı yöntemi Lineer Ayrılaştırma Fonksiyonu b) genlik oranı yöntemi Karesel Ayrılaştırma Fonksiyonu c) karmaşıklık yöntemi Lineer Ayrılaştırma Fonksiyonu d) karmaşıklık yöntemi Karesel Ayrılaştırma Fonksiyonu grafikleri. (The graphs for the station BGKT a) amplitude ratio method Linear Discriminant Function b) amplitude ratio method Quadratic Discriminant Function c) complexity method Linear Discriminant Function d) complexity method Quadratic Discriminant Function)



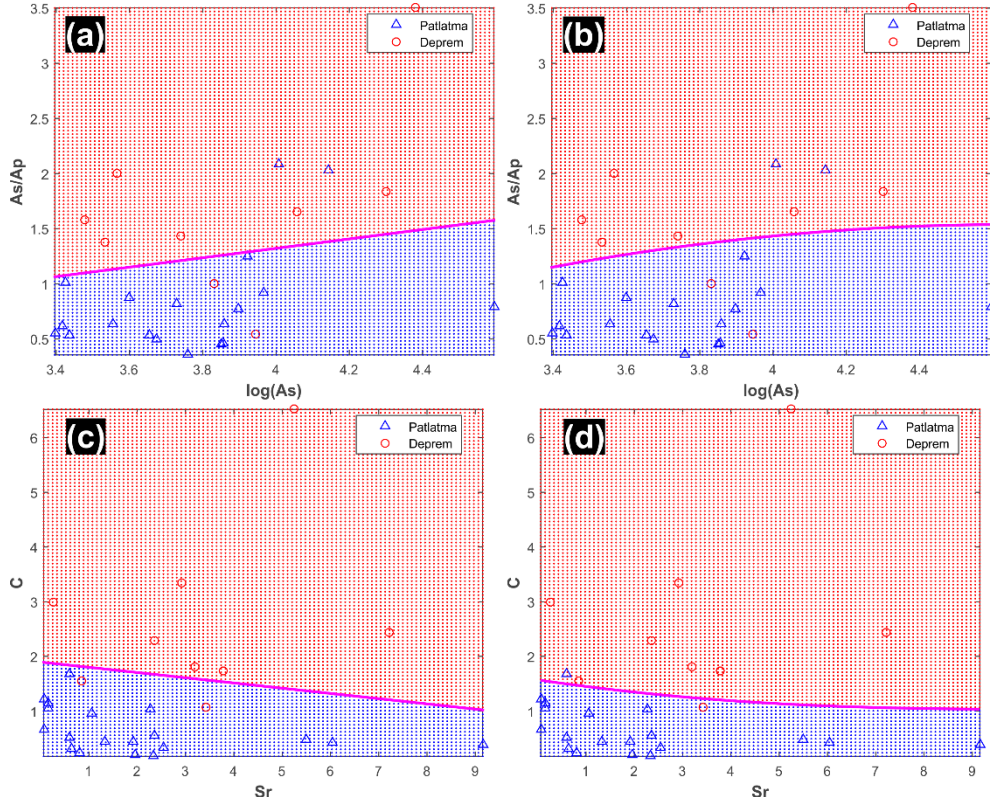
Şekil 5. CTKS istasyonuna ait a) genlik oranı yöntemi Lineer Ayrımıştırma Fonksiyonu b) genlik oranı yöntemi Karesel Ayrımıştırma Fonksiyonu c) karmaşıklık yöntemi Lineer Ayrımıştırma Fonksiyonu d) karmaşıklık yöntemi Karesel Ayrımıştırma Fonksiyonu grafikleri. (The graphs for the station CTKS a) amplitude ratio method Linear Discriminant Function b) amplitude ratio method Quadratic Discriminant Function c) complexity method Linear Discriminant Function d) complexity method Quadratic Discriminant Function)



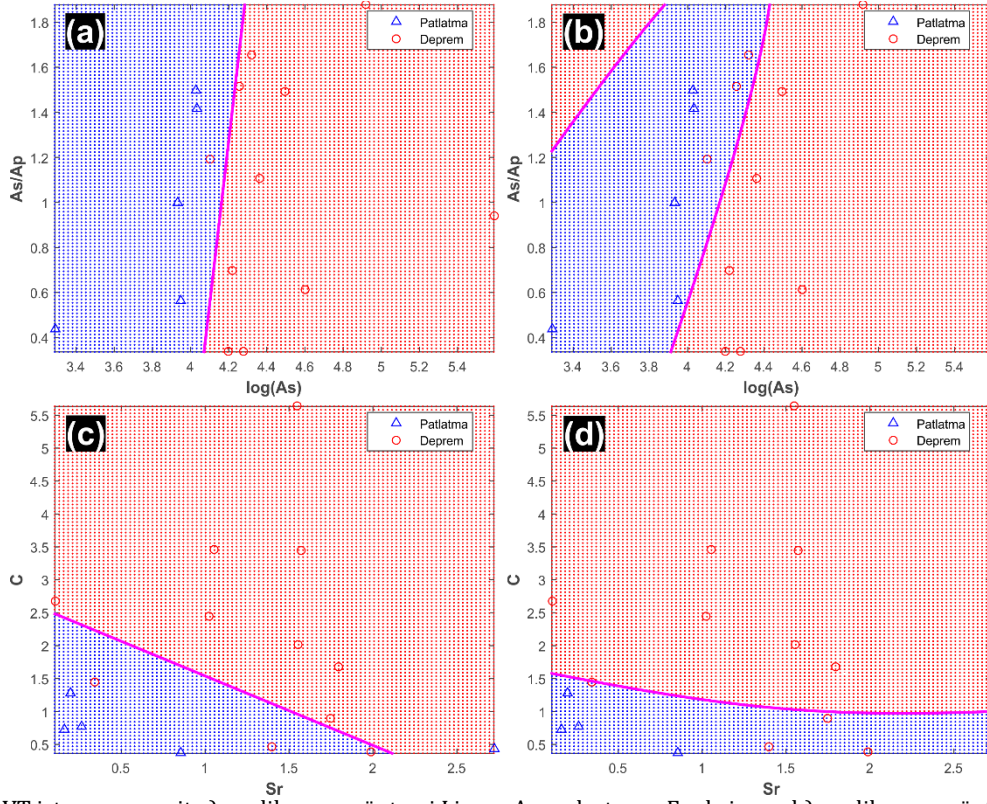
Şekil 6. CTYL istasyonuna ait a) genlik oranı yöntemi Lineer Ayrımıştırma Fonksiyonu b) genlik oranı yöntemi Karesel Ayrımıştırma Fonksiyonu c) karmaşıklık yöntemi Lineer Ayrımıştırma Fonksiyonu d) karmaşıklık yöntemi Karesel Ayrımıştırma Fonksiyonu grafikleri. (The graphs for the station CTYL a) amplitude ratio method Linear Discriminant Function b) amplitude ratio method Quadratic Discriminant Function c) complexity method Linear Discriminant Function d) complexity method Quadratic Discriminant Function)



Şekil 7. ISK istasyonuna ait a) genlik oranı yöntemi Lineer Ayrımıştırma Fonksiyonu b) genlik oranı yöntemi Karesel Ayrımıştırma Fonksiyonu c) karmaşıklık yöntemi Lineer Ayrımıştırma Fonksiyonu d) karmaşıklık yöntemi Karesel Ayrımıştırma Fonksiyonu grafikleri. (The graphs for the station ISK a) amplitude ratio method Linear Discriminant Function b) amplitude ratio method Quadratic Discriminant Function c) complexity method Linear Discriminant Function d) complexity method Quadratic Discriminant Function)



Şekil 8. KLYT istasyonuna ait a) genlik oranı yöntemi Lineer Ayrımıştırma Fonksiyonu b) genlik oranı yöntemi Karesel Ayrımıştırma Fonksiyonu c) karmaşıklık yöntemi Lineer Ayrımıştırma Fonksiyonu d) karmaşıklık yöntemi Karesel Ayrımıştırma Fonksiyonu grafikleri. (The graphs for the station KLYT a) amplitude ratio method Linear Discriminant Function b) amplitude ratio method Quadratic Discriminant Function c) complexity method Linear Discriminant Function d) complexity method Quadratic Discriminant Function)

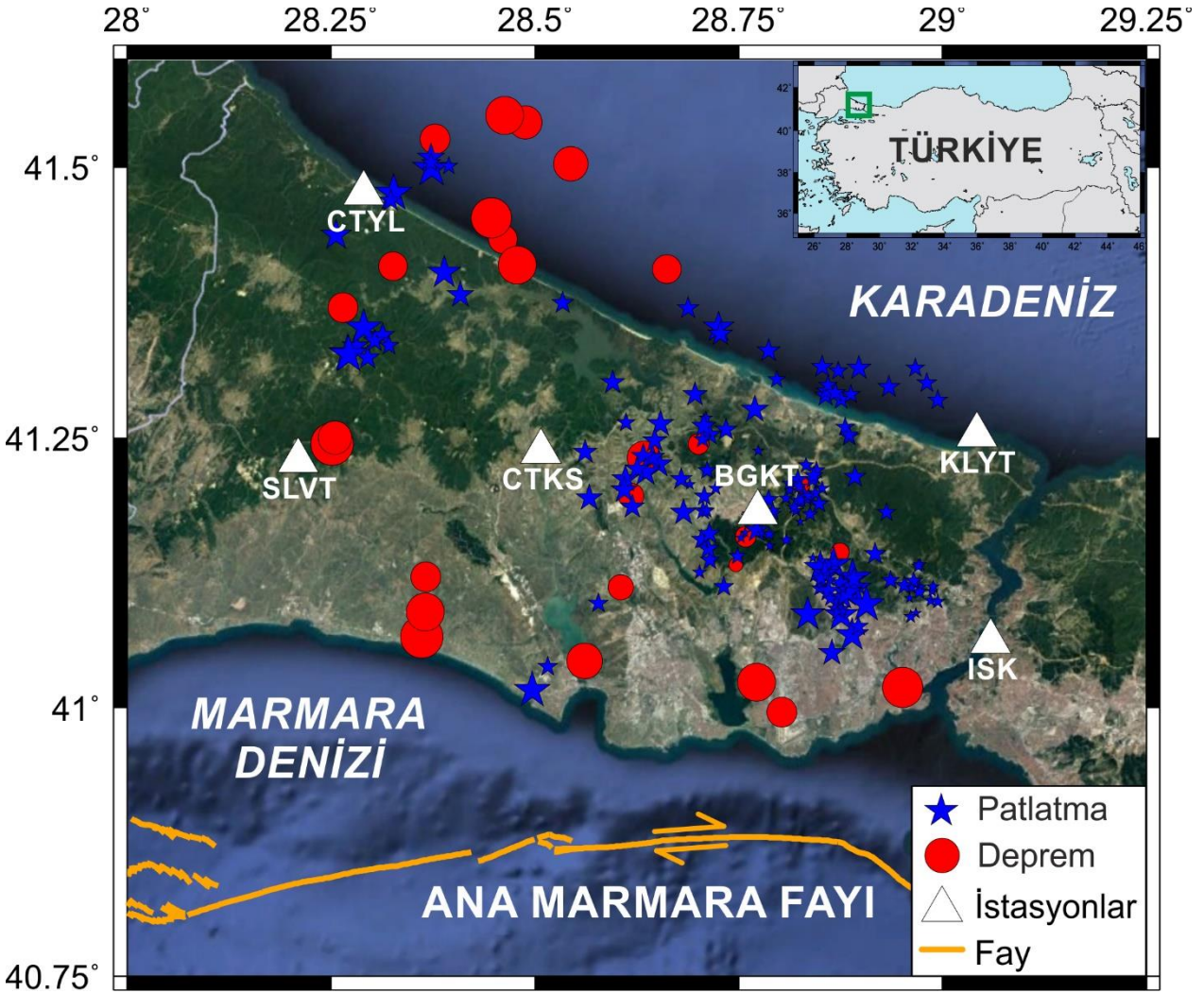


Şekil 9. SLVT istasyonuna ait a) genlik oranı yöntemi Lineer Ayrımıştırma Fonksiyonu b) genlik oranı yöntemi Karesel Ayrımıştırma Fonksiyonu c) karmaşıklık yöntemi Lineer Ayrımıştırma Fonksiyonu d) karmaşıklık yöntemi Karesel Ayrımıştırma Fonksiyonu grafikleri. (The graphs for the station SLVT a) amplitude ratio method Linear Discriminant Function b) amplitude ratio method Quadratic Discriminant Function c) complexity method Linear Discriminant Function d) complexity method Quadratic Discriminant Function)

Tablo 2. Tüm istasyonlara ait yöntem ve istatistiksel yaklaşım bazlı analiz sonuçları. LAF: Lineer Ayrımlaştırma Fonksiyonu, KAF: Karesel Ayrımlaştırma Fonksiyonu, D: Deprem, P: Patlatma, H-D: Hatalı Deprem, H-P: Hatalı Patlatma. (Method and statistical approach based analyses results for all stations. LAF: Linear Discriminant Function, KAF: Quadratic Discriminant Functions, D: Earthquake, P: Blast, H-D: Incorrect Earthquake, H-P: Incorrect Blast)

| İstasyon | Yöntem | İstatistiksel Yaklaşım | Sayı | | | | Başarı Oranı (%) | | |
|----------|--------------|------------------------|------|-----|-----|-----|------------------|--------|--------|
| | | | D | P | H-D | H-P | D | P | Genel |
| BGKT | İlk Tahmin | | 14 | 108 | - | - | - | - | - |
| | Genlik Oranı | LAF | 9 | 83 | 5 | 25 | 64.29 | 76.85 | 75.41 |
| | | KAF | 7 | 86 | 7 | 22 | 50.00 | 79.63 | 76.23 |
| | Karmaşıklık | LAF | 11 | 101 | 3 | 7 | 78.57 | 93.52 | 90.98 |
| | | KAF | 11 | 101 | 3 | 7 | 78.57 | 93.52 | 90.98 |
| Sonuç | | 14 | 108 | - | - | - | - | - | |
| CTKS | İlk Tahmin | | 13 | 23 | - | - | - | - | - |
| | Genlik Oranı | LAF | 10 | 22 | 3 | 1 | 76.92 | 95.65 | 88.89 |
| | | KAF | 10 | 22 | 3 | 1 | 76.92 | 95.65 | 88.89 |
| | Karmaşıklık | LAF | 10 | 23 | 3 | - | 76.92 | 100.00 | 91.67 |
| | | KAF | 13 | 22 | - | 1 | 100.00 | 95.64 | 97.22 |
| Sonuç | | 11 | 25 | - | - | - | - | - | |
| CTYL | İlk Tahmin | | 14 | 10 | - | - | - | - | - |
| | Genlik Oranı | LAF | 11 | 8 | 3 | 2 | 78.57 | 80.00 | 79.17 |
| | | KAF | 11 | 10 | 3 | - | 78.57 | 100.00 | 87.50 |
| | Karmaşıklık | LAF | 12 | 10 | 2 | - | 85.71 | 100.00 | 91.67 |
| | | KAF | 14 | 10 | - | - | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| Sonuç | | 14 | 10 | - | - | - | - | - | |
| ISK | İlk Tahmin | | 8 | 36 | - | - | - | - | - |
| | Genlik Oranı | LAF | 4 | 30 | 4 | 6 | 50.00 | 83.33 | 77.27 |
| | | KAF | 4 | 32 | 4 | 4 | 50.00 | 88.89 | 81.82 |
| | Karmaşıklık | LAF | 8 | 32 | - | 4 | 100.00 | 88.89 | 90.91 |
| | | KAF | 8 | 33 | - | 3 | 100.00 | 91.67 | 93.18 |
| Sonuç | | 9 | 35 | - | - | - | - | - | |
| KLYT | İlk Tahmin | | 9 | 19 | - | - | - | - | - |
| | Genlik Oranı | LAF | 7 | 17 | 2 | 2 | 77.78 | 89.47 | 85.71 |
| | | KAF | 7 | 17 | 2 | 2 | 77.78 | 89.47 | 85.71 |
| | Karmaşıklık | LAF | 7 | 19 | 2 | - | 77.78 | 100.00 | 92.86 |
| | | KAF | 8 | 18 | 1 | 1 | 88.89 | 97.74 | 92.86 |
| Sonuç | | 8 | 20 | - | - | - | - | - | |
| SLVT | İlk Tahmin | | 11 | 5 | - | - | - | - | - |
| | Genlik Oranı | LAF | 10 | 5 | 1 | - | 90.91 | 100.00 | 93.75 |
| | | KAF | 8 | 5 | 3 | - | 72.73 | 100.00 | 81.25 |
| | Karmaşıklık | LAF | 8 | 4 | 3 | 1 | 72.73 | 80.00 | 75.00 |
| | | KAF | 7 | 5 | 4 | - | 63.64 | 100.00 | 75.00 |
| Sonuç | | 11 | 5 | - | - | - | - | - | |

İstasyon bazlı analizleri yapılan verilerin her bir yöntem ve istatistiksel yaklaşım için elde edilen sonuçları "ilk tahmin" ile kıyaslanarak başarı oranları hesaplanmıştır. Bir olaya ait kaynak türü belirlenirken daha başarılı olan analizden elde edilen parametrenin de genel sonuca etkisi daha büyük olacaktır. Bu şekilde her bir olayın kaynak türünün tanımlaması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre 195 adet sismik olayın 28 tanesinin deprem, 167 tanesinin ise patlatma kaynaklı olduğu sonucuna varılmıştır (Şekil 10, Ek 1).



Şekil 10. Büyüklüğe göre çizilen, analizlere dayalı kaynak türü dağılımları
(Source type distribution based on analyses, plotted by magnitude)

6. Sonuçlar ve Tartışma (Conclusions and Discussion)

Bu çalışmada, İstanbul ili Avrupa Yakasında kayıtlara geçen 195 adet sismik olayın KRDAE-BDTİM tarafından işletilen altı adet istasyonundaki 270 adet dalga şekli kullanılmıştır. Sinyaller görsel olarak incelenerek, "ilk tahmin" adı verilen bir kaynak türü tanımlaması yapılmıştır. Ardından, genlik oranı ve karmaşıklık yöntemleri ile Lineer ve Karesel Ayrımıştırma Fonksiyonları kullanılarak kaynak türü belirleme analizi yapılmıştır.

İstasyon bazlı uygulama yapılan bu çalışmada, karmaşıklık yönteminin genlik oranı yöntemine nazaran daha başarılı sonuçlar sunduğu; keza, Karesel Ayrımıştırma Fonksiyonlarının Lineer Ayrımıştırma Fonksiyonlarına göre daha başarılı ayrımıştırma gerçekleştirdiği tespit edilmiştir. Veri dağılımı göz önünde bulundurulduğunda ise bazı durumlarda önerilen yöntem ve istatistiksel analizin başarı oranının daha geride kaldığı görülmüştür. Yöntemler ve istatistiksel analizlerin başarı oranları göz önünde bulundurulduğunda ise her bir sismik sinyal için kaynak türü ayrımı başarı oranları üzerinden yapılmıştır. Birden fazla istasyonun kaydettiği aynı olay için de benzer ağırlıklandırma üzerinden kaynak türü belirlenmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak, 195 adet sismik olayın 28 tanesinin doğal, 167 tanesinin ise yapay kaynaklı olduğu elde edilmiştir.

Deprem ve patlatma sinyallerinin karakteristikleri birbirinden farklı olarak önerilse de dış merkez uzaklığının artması ile sinyalin karakteristiğindeki değişimden dolayı dalga şeklinin içeriği değişmeye başlamaktadır. Böylece gerek zaman gerekse de frekans ortamı yöntemleri ile sinyalin yapısı incelenerek kaynak türü analizi yapılabilmektedir. Kimi zaman görsel inceleme sonucu kaynak türü taraması yapılabilir de özellikle uzaklık, yer yapısı, atenuasyon vb. gibi durumlar ile değişen dalga şekline çoklu yöntemler ile analizler uygulanarak daha net ve güvenilir sonuçların elde edilmesi önerilmektedir. Ayrıca, elde edilen ayrımıştırma fonksiyonları ile başarı oranları göz önünde bulundurulduğunda, bölgede meydana gelecek mikro sismik aktivitenin kaynak türünü belirlemek amacıyla bu çalışmadan elde edilen istasyon bazlı ayrımıştırma fonksiyonlarının kullanılması tavsiye edilmektedir.

Mikro sismik aktivitenin kullanıldığı bilimsel çalışmalarda, bu çalışmada olduğu gibi küçük büyüklükteki olayların kaynak türlerinin güvenilir bir şekilde tanımlanması büyük önem arz etmektedir. Sağlıklı sonuçlara erişmek için, optimum düzeyde veri sayısı değerlendirilerek çok sayıda yöntemin bir arada kullanılması önerilmektedir. Gerek geçmiş katalogların yenilenmesi gerekse de gelecekte meydana gelecek sismik olayların detaylı bir şekilde irdelenmesi ile hata payları en aza indirilerek en güvenilir sonuçların sunulması elzemdir. Böylece sismoloji, sismotektonik, depremsellik, deprem tehlike analizleri gibi çalışmalar için daha güvenilir kaynak türü tanımlamasına sahip homojen deprem katalogları ortaya konularak, araştırmacıların zaman kaybı yaşadığı ikincil çalışmaların da önüne geçilecektir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Sismik veriler Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi (KRDAE-BDTİM) sunucusundan indirilmiştir. Şekiller ArcGIS 10.8.1, GMT (Wessel ve Smith, 1998), SAC (Goldstein vd., 2003), MATLAB 2015a ve Google Earth Pro kullanılarak çizilmiştir. Değerli yorumları ve katkılarından dolayı alan editörü Prof. Dr. Çağlayan Balkaya'ya ve hakemlere, Jeoloji Müh. Tarık Talay'a, Harita Tek. Nurcan Seyyar'a ve İBB Deprem ve Zemin İnceleme Şube Müdürlüğüne en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the author.

Kaynaklar (References)

- AFAD, 2018. Türkiye Deprem Tehlike Haritası.
- Aki, K., 1995. Discriminating Underground Explosions from Earthquakes Using Seismic Coda Waves. University of Southern California Los Angeles Center for Earth Sciences.
- Allmann, B.P., Shearer, P.M., Hauksson, E., 2008. Spectral discrimination between quarry blasts and earthquakes in southern California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 98 (4), 2073-2079.
- Arai, N., Yosida, Y., 2004. Discrimination by short-period seismograms. International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Building Research Institute (IIEE). Lecture Note, Global Course, Tsukuba, Japan, 10.
- Ataeva, G., Gitterman, Y., Shapira, A., 2017. The ratio between corner frequencies of source spectra of P-and S-waves—a new discriminant between earthquakes and quarry blasts. *Journal of Seismology*, 21 (1), 209-220.
- Badawy, A., Gamal, M., Farid, W., Soliman, M.S., 2019. Decontamination of earthquake catalog from quarry blast events in northern Egypt. *Journal of Seismology*, 23 (6), 1357-1372.
- Barka, A.A., 1992. The north Anatolian fault zone. *Annales tectonicae*, 6, 164-195.
- Baumgardt, D.R., Young, G.B., 1990. Regional seismic waveform discriminants and case-based event identification using regional arrays. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 80 (6B), 1874-1892.
- Beck, S.L., Wallace, T.C., 1997. Broadband seismic recordings of mining explosions and earthquakes in South America. Arizona University Tucson Dept of Geosciences.
- Budakoğlu, E., Horasan, G., 2018. Classification of seismic events using linear discriminant function (LDF) in the Sakarya region, Turkey. *Acta Geophysica*, 66 (5), 895-906.
- Carr, D.B., Garbin, H.D., 1998. Discriminating ripple-fired explosions with high-frequency (> 16 Hz) data. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 88 (4), 963-972.
- Ceydilek, N., Horasan, G., 2019. Manisa ve çevresinde deprem ve patlatma verilerinin ayırt edilmesi. *Türk Deprem Araştırma Dergisi*, 1 (1), 26-47.
- Dalgıç, S., 2004. Factors affecting the greater damage in the Avcılar area of Istanbul during the 17 August 1999 Izmit earthquake. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 63 (3), 221-232.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., Şaroğlu, F., 2013. Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası. Ölçek 1:1.250.000, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30, Ankara-Türkiye. ISBN: 978-605-5310-56-1.
- Ergintav, S., Demirbağ, E., Ediger, V., Saatçılar, R., Inan, S., Cankurtaranlar, A., Dikbaş, A., Baş, M., 2011. Structural framework of onshore and offshore Avcılar, Istanbul under the influence of the North Anatolian fault. *Geophysical Journal International*, 185 (1), 93-105.
- Fisher, R.A., 1936. The use of multiple measurements in taxonomic problems. *Annals of eugenics*, 7 (2), 179-188.
- Franc, V., Hlavác, V., 2004. Statistical pattern recognition toolbox for Matlab. Prague, Czech: Center for Machine Perception, Czech Technical University.
- Gitterman, Y., Pinsky, V., Shapira, A., 1998. Spectral classification methods in monitoring small local events by the Israel seismic network. *Journal of Seismology*, 2 (3), 237-256.
- Gitterman, Y., Shapira, A., 1993. Spectral discrimination of underwater explosions. *Israel Journal of Earth Sciences*, 42 (1), 37-44.
- Goldstein P., Dodge D., Firpo M., Minner L., 2003. SAC2000: Signal processing and analysis tools for seismologists and engineers, in: Lee WHK, Kanamori H, Jennings PC, Kisslinger C (eds) invited contribution to "The IASPEI international handbook of earthquake and engineering seismology". AcademicPress, London.

- Hedlin M.A., Minster J.B., Orcutt, J.A., 1989. The time-frequency characteristics of quarry blasts and calibration explosions recorded in Kazakhstan, USSR, *Geophysical Journal International*, 99 (1), 109-121.
- Hedlin M.A., Minster J.B., Orcutt J.A., 1990. An automatic means to discriminate between earthquakes and quarry blasts, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 80 (6B), 2143-2160.
- Horasan, G., Güney, A.B., Küsmezer, A., Bekler, F., Ögütçü, Z., Musaoğlu, N., 2009. Contamination of seismicity catalogs by quarry blasts: An example from Istanbul and its vicinity, northwestern Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 34 (1), 90-99.
- İBB, 2011. İstanbul İl Alanının Jeolojisi.
- İBB, 2020. İstanbul İli Heyelan Bilgi Envanteri Projesi – İlçe Heyelan Bilgi Kitapçıkları.
- Kartal, Ö.F., Horasan, G., 2011. Trabzon ve civarındaki deprem ve patlatma verilerinin birbirinden ayırt edilmesi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 15 (1), 68-74.
- Kekovalı, K., Kalafat, D., Deniz, P., 2012. Spectral discrimination between mining blasts and natural earthquakes: application to the vicinity of Tunbilek mining area, western Turkey. *International Journal of Physical Sciences*, 7 (35), 5339-5352.
- Krzanowski, W.J., 1988. Principles of multivariate analysis: a user's perspective. Clarendon.
- Koch, K., Fäh, D., 2002. Identification of earthquakes and explosions using amplitude ratios: the Vogtland area revisited. In *Monitoring the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty: Seismic Event Discrimination and Identification* (pp. 735-757). Birkhäuser, Basel.
- Kolaj, M., 2018. Discriminating between low-magnitude shallow earthquakes and road construction blasts near Big Salmon River, New Brunswick, Canada. *Seismological Research Letters*, 89 (5), 1966-1976.
- Korrat, I.M., Lethy, A., ElGabry, M.N., Hussein, H.M., Othman, A.S., 2022. Discrimination Between Small Earthquakes and Quarry Blasts in Egypt Using Spectral Source Characteristics. *Pure and Applied Geophysics*, 179 (2), 599-618.
- Kuyuk, H.S., Yildirim, E., Dogan, E., Horasan, G., 2011. An unsupervised learning algorithm: application to the discrimination of seismic events and quarry blasts in the vicinity of Istanbul. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11 (1), 93-100.
- Kuyuk, H.S., Yildirim, E., Dogan, E., Horasan, G., 2014. Clustering seismic activities using linear and nonlinear discriminant analysis. *Journal of Earth Science*, 25 (1), 140-145.
- Li, Z., Meier, M.A., Hauksson, E., Zhan, Z., Andrews, J., 2018. Machine learning seismic wave discrimination: Application to earthquake early warning. *Geophysical Research Letters*, 45 (10), 4773-4779.
- MATLAB Release 2015, The MathWorks, Inc, Natick, Massachusetts, United States.
- McClusky, S., Reilinger, R., Mahmoud, S., Ben Sari, D., Tealeb, A., 2003. GPS constraints on Africa (Nubia) and Arabia plate motions. *Geophysical Journal International*, 155 (1), 126-138.
- Okay, A.I., Tüysüz, O., 1999. Tethyan sutures of northern Turkey. *Geological Society, London, Special Publications*, 156 (1), 475-515.
- Ögütçü, Z., Horasan, G., Kalafat, D., 2011. Investigation of microseismic activity sources in Konya and its vicinity, central Turkey. *Natural Hazards*, 58 (1), 497-509.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., ... Karam, G., 2006. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 111 (B5).
- Seber, G.A., 2009. Multivariate observations. John Wiley & Sons.
- Sertçelik, F., Başer, O. (2010). Güney Ege Bölgesi'nde yapay ve doğal kaynaklı titreşimlerin ayırt edilmesi. *Yerbilimleri*, 31 (3), 141-168.
- Sertçelik, F., Yavuz, E., Birdem, M., Merter, G., 2020. Discrimination of the natural and artificial quakes in the Eastern Marmara Region, Turkey. *Acta Geodaetica et Geophysica*, 55 (4), 645-665.
- Su, F., Aki, K., Biswas, N.N., 1991. Discriminating quarry blasts from earthquakes using coda waves. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 81 (1), 162-178.
- Şen, Ş., 2007. A fault zone cause of large amplification and damage in Avcılar (west of Istanbul) during 1999 Izmit earthquake. *Natural Hazards*, 43 (3), 351-363.
- Şengör, A.M.C., Tüysüz, O., Imren, C., Sakiñç, M., Eyidoğan, H., Görür, N., Le Pichon, X., Rangin, C., 2005. The North Anatolian fault: A new look. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 33, 37-112.
- Tan, A., Horasan, G., Kalafat, D., Gülbağ, A., 2021. Discrimination of earthquakes and quarries in the Edirne district (Turkey) and its vicinity by using a linear discriminate function method and artificial neural networks. *Acta Geophysica*, 69 (1), 17-27.
- Tezcan, S.S., Kaya, E., Bal, I.E., Özdemir, Z., 2002. Seismic amplification at Avcılar, Istanbul. *Engineering structures*, 24 (5), 661-667.
- Tur, H., Hoskan, N., Aktas, G., 2015. Tectonic evolution of the northern shelf of the Marmara Sea (Turkey): interpretation of seismic and bathymetric data. *Marine Geophysical Research*, 36 (1), 1-34.
- Tüysüz N., Yaylalı G., 2005. *Jeostatistik Kavramlar ve Bilgisayarlı Uygulamalar*, Karadeniz Teknik Üniversitesi Yayınları, Trabzon.
- Ursino, A., Langer, H., Scarfi, L., Di Grazia, G., Gresta, S., 2001. Discrimination of quarry blasts from tectonic microearthquakes in the Hyblean Plateau (Southeastern Sicily). *Annals of Geophysics*, 44 (4).
- Wessel P., Smith W.H.F., 1998. New, improved version of generic mapping tools released. *EOS Trans. Am. Geophys.*, 79(47), 579.
- Wüster, J., 1993. Discrimination of chemical explosions and earthquakes in central Europe—a case study. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 83 (4), 1184-1212.
- Yavuz, E. (2022). Refining micro-seismic catalogs around Seydişehir, Turkey. *Annals of Geophysics*, 65 (5).
- Yavuz, E., Sertçelik, F., Livoğlu, H., Irmak, T.S., 2019a. Gaziantep-Kahramanmaraş Bölgesinde Meydana Gelen Deprem ve Taş Ocağı Patlatmalarının Zaman ve Frekans Ortamı Yöntemleri ile Sınıflandırılması. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8 (2), 642-651.
- Yavuz, E., Sertçelik, F., Livoğlu, H., Woith, H., Lühr, B.G., 2019b. Discrimination of quarry blasts from tectonic events in the Armutlu Peninsula, Turkey. *Journal of Seismology*, 23 (1), 59-76.
- Yılmaz, Ş., Bayrak, Y., Çınar, H., 2013. Discrimination of earthquakes and quarry blasts in the eastern Black Sea region of Turkey. *Journal of Seismology*, 17 (2), 721-734.

Ek 1. Olayların bilgileri ve kaynak türleri (The information and the source types of the events)

| No | Oluş Tarihi | Oluş Zamanı | Enlem (°K) | Boylam (°D) | Büyüklik (M) | Kaynak Türü |
|----|-------------|-------------|------------|-------------|--------------|-------------|
| 1 | 01.08.2007 | 08:10:04.50 | 41.0162 | 28.4968 | 2.5 | Patlatma |
| 2 | 01.12.2007 | 14:47:35.70 | 41.1100 | 28.8900 | 2.6 | Patlatma |
| 3 | 06.12.2007 | 09:47:43.20 | 41.1200 | 28.8900 | 2.6 | Patlatma |
| 4 | 13.03.2008 | 14:38:20.80 | 41.1300 | 28.8500 | 2.3 | Patlatma |
| 5 | 13.03.2008 | 14:48:54.37 | 41.0868 | 28.8347 | 2.4 | Patlatma |
| 6 | 14.03.2008 | 16:24:51.06 | 41.0863 | 28.8757 | 2.4 | Patlatma |
| 7 | 09.04.2008 | 12:18:34.18 | 41.0235 | 28.7718 | 2.5 | Deprem |
| 8 | 08.09.2008 | 10:06:32.99 | 41.0673 | 28.8887 | 2.3 | Patlatma |
| 9 | 09.09.2008 | 15:07:07.31 | 41.0510 | 28.8640 | 1.8 | Patlatma |
| 10 | 09.09.2008 | 17:52:17.35 | 41.1105 | 28.8845 | 2.4 | Patlatma |
| 11 | 11.09.2008 | 12:42:27.93 | 41.3278 | 28.2705 | 2.6 | Patlatma |
| 12 | 28.10.2008 | 16:04:49.79 | 41.0658 | 28.3610 | 2.8 | Deprem |
| 13 | 29.01.2009 | 12:50:30.09 | 41.4032 | 28.3888 | 2.3 | Patlatma |
| 14 | 30.03.2009 | 04:00:06.10 | 41.0187 | 28.9508 | 2.7 | Deprem |
| 15 | 16.04.2009 | 13:40:56.61 | 41.3348 | 28.2802 | 1.8 | Patlatma |
| 16 | 10.06.2009 | 14:34:09.92 | 41.4988 | 28.3730 | 2.7 | Patlatma |
| 17 | 26.06.2009 | 11:34:50.28 | 41.3522 | 28.2903 | 2.5 | Patlatma |
| 18 | 03.01.2010 | 19:51:49.06 | 41.2443 | 28.2512 | 2.8 | Deprem |
| 19 | 02.07.2010 | 15:16:20.25 | 41.4763 | 28.3265 | 2.6 | Patlatma |
| 20 | 06.07.2010 | 13:39:11.24 | 41.3270 | 28.2718 | 2.6 | Patlatma |
| 21 | 20.01.2012 | 08:17:04.27 | 41.2503 | 28.2550 | 2.2 | Deprem |
| 22 | 13.02.2012 | 14:32:47.57 | 41.1330 | 28.8667 | 2.4 | Patlatma |
| 23 | 20.03.2012 | 09:23:36.24 | 41.1643 | 28.7718 | 1.7 | Patlatma |
| 24 | 23.03.2012 | 15:06:25.45 | 41.1245 | 28.8560 | 1.8 | Patlatma |
| 25 | 01.04.2012 | 07:34:22.61 | 41.4337 | 28.4610 | 1.9 | Deprem |
| 26 | 04.04.2012 | 14:02:22.66 | 41.0908 | 28.8725 | 1.5 | Patlatma |
| 27 | 23.04.2012 | 13:15:26.05 | 41.4377 | 28.2563 | 2.1 | Patlatma |
| 28 | 01.06.2012 | 07:29:27.80 | 41.0890 | 28.3652 | 2.5 | Deprem |
| 29 | 07.06.2012 | 11:17:06.98 | 41.3705 | 28.2647 | 2.0 | Deprem |
| 30 | 13.06.2012 | 10:57:01.48 | 41.1212 | 28.3660 | 2.0 | Deprem |
| 31 | 15.07.2012 | 06:20:09.74 | 41.5415 | 28.4883 | 2.2 | Deprem |
| 32 | 07.12.2012 | 04:31:43.23 | 41.5480 | 28.4627 | 2.5 | Deprem |
| 33 | 18.07.2013 | 16:04:32.51 | 41.3825 | 28.4088 | 1.8 | Patlatma |
| 34 | 30.09.2013 | 12:58:47.29 | 41.4087 | 28.3257 | 1.9 | Deprem |
| 35 | 18.02.2014 | 00:38:10.39 | 41.0435 | 28.5608 | 2.4 | Deprem |
| 36 | 10.06.2014 | 14:45:50.15 | 41.3040 | 28.7967 | 1.2 | Patlatma |
| 37 | 24.06.2014 | 18:07:58.83 | 41.4692 | 28.3228 | 1.5 | Patlatma |
| 38 | 25.12.2014 | 13:17:03.68 | 41.3452 | 28.3130 | 1.7 | Patlatma |
| 39 | 05.02.2015 | 10:50:03.39 | 41.3245 | 28.2947 | 1.7 | Patlatma |
| 40 | 24.02.2015 | 12:10:28.31 | 41.3147 | 28.9663 | 1.3 | Patlatma |
| 41 | 13.04.2015 | 14:44:03.93 | 41.3397 | 28.3033 | 1.5 | Patlatma |
| 42 | 02.05.2015 | 10:26:01.26 | 41.3007 | 28.9805 | 1.4 | Patlatma |
| 43 | 19.11.2015 | 10:27:52.17 | 41.5263 | 28.3773 | 2.0 | Deprem |
| 44 | 24.11.2015 | 10:06:15.28 | 41.2848 | 28.9942 | 1.4 | Patlatma |
| 45 | 03.12.2015 | 10:36:56.52 | 41.3527 | 28.7250 | 2.1 | Patlatma |
| 46 | 01.03.2016 | 10:49:52.22 | 41.5093 | 28.3725 | 1.9 | Patlatma |
| 47 | 17.12.2016 | 01:23:17.07 | 41.5033 | 28.5442 | 2.3 | Deprem |
| 48 | 11.01.2017 | 02:12:53.54 | 41.4533 | 28.4468 | 2.7 | Deprem |
| 49 | 22.03.2017 | 10:10:34.17 | 41.3463 | 28.7272 | 1.7 | Patlatma |
| 50 | 12.05.2017 | 10:11:51.25 | 41.3307 | 28.7868 | 1.6 | Patlatma |
| 51 | 14.05.2017 | 10:12:46.20 | 41.2118 | 28.6792 | 1.5 | Patlatma |
| 52 | 14.06.2017 | 10:43:43.07 | 41.3145 | 28.8975 | 1.7 | Patlatma |
| 53 | 30.06.2017 | 09:56:32.88 | 41.1810 | 28.6825 | 1.8 | Patlatma |
| 54 | 11.08.2017 | 19:41:04.99 | 41.4100 | 28.4783 | 2.5 | Deprem |
| 55 | 23.08.2017 | 09:57:04.49 | 41.2972 | 28.9343 | 1.5 | Patlatma |
| 56 | 11.09.2017 | 09:48:31.47 | 41.4063 | 28.6620 | 1.9 | Deprem |
| 57 | 15.09.2017 | 09:30:04.73 | 41.2318 | 28.6337 | 2.2 | Deprem |
| 58 | 18.09.2017 | 09:01:42.65 | 41.3352 | 28.3212 | 1.4 | Patlatma |
| 59 | 22.09.2017 | 09:58:35.09 | 41.2890 | 28.8567 | 1.5 | Patlatma |
| 60 | 24.09.2017 | 09:29:27.38 | 41.2932 | 28.8572 | 1.4 | Patlatma |
| 61 | 24.09.2017 | 10:05:30.55 | 41.2257 | 28.6522 | 1.9 | Patlatma |
| 62 | 29.09.2017 | 13:48:01.82 | 41.1118 | 28.6055 | 1.7 | Deprem |
| 63 | 03.10.2017 | 09:53:19.30 | 41.2763 | 28.7698 | 1.9 | Patlatma |
| 64 | 11.10.2017 | 12:15:21.72 | 41.1963 | 28.6180 | 1.7 | Deprem |
| 65 | 13.11.2017 | 10:05:23.32 | 41.2322 | 28.6445 | 1.7 | Patlatma |
| 66 | 14.11.2017 | 09:57:03.26 | 41.2332 | 28.6330 | 1.7 | Patlatma |
| 67 | 15.11.2017 | 10:00:23.01 | 41.2122 | 28.6113 | 1.9 | Patlatma |
| 68 | 17.11.2017 | 10:32:24.86 | 41.2017 | 28.6093 | 1.8 | Patlatma |
| 69 | 17.11.2017 | 10:03:49.07 | 41.2185 | 28.6357 | 2.0 | Patlatma |
| 70 | 18.11.2017 | 09:28:31.27 | 41.2985 | 28.8597 | 1.3 | Patlatma |
| 71 | 23.11.2017 | 13:15:04.01 | 41.2630 | 28.6538 | 1.8 | Patlatma |
| 72 | 25.11.2017 | 10:24:55.41 | 41.2477 | 28.6470 | 1.7 | Patlatma |
| 73 | 25.11.2017 | 06:29:39.27 | 41.1945 | 28.5665 | 1.8 | Patlatma |
| 74 | 26.11.2017 | 11:10:31.44 | 41.2642 | 28.6118 | 1.3 | Patlatma |
| 75 | 28.11.2017 | 14:23:13.90 | 41.2370 | 28.5617 | 1.7 | Patlatma |
| 76 | 28.11.2017 | 12:37:32.34 | 41.2213 | 28.6252 | 1.6 | Patlatma |
| 77 | 30.11.2017 | 10:42:53.13 | 41.1862 | 28.6198 | 1.7 | Patlatma |
| 78 | 30.11.2017 | 09:46:10.43 | 41.3013 | 28.5957 | 1.7 | Patlatma |

| No | Oluş Tarihi | Oluş Zamanı | Enlem (°K) | Boylam (°D) | Büyüklik (M) | Kaynak Türü |
|-----------------------|-------------|-------------|------------|-------------|--------------|-------------|
| 79 | 27.12.2017 | 10:01:29.61 | 41.3750 | 28.5338 | 1.5 | Patlatma |
| Ek 1. (devamı) | | | | | | |
| 80 | 07.01.2018 | 10:09:31.22 | 41.2528 | 28.7147 | 1.5 | Patlatma |
| 81 | 09.01.2018 | 09:59:19.69 | 41.2487 | 28.7058 | 1.2 | Patlatma |
| 82 | 03.02.2018 | 09:35:56.86 | 41.2447 | 28.7005 | 1.4 | Deprem |
| 83 | 15.03.2018 | 09:32:57.93 | 41.2577 | 28.7343 | 1.5 | Patlatma |
| 84 | 27.03.2018 | 11:30:55.38 | 41.0970 | 28.5778 | 1.4 | Patlatma |
| 85 | 06.04.2018 | 11:23:40.04 | 41.2857 | 28.8757 | 1.4 | Patlatma |
| 86 | 12.04.2018 | 08:51:47.01 | 41.0383 | 28.5155 | 1.4 | Patlatma |
| 87 | 13.04.2018 | 10:02:53.66 | 41.2917 | 28.8688 | 1.4 | Patlatma |
| 88 | 18.05.2018 | 10:25:47.06 | 41.3702 | 28.6877 | 1.5 | Patlatma |
| 89 | 21.05.2018 | 10:18:23.23 | 41.3158 | 28.8523 | 1.5 | Patlatma |
| 90 | 07.06.2018 | 09:43:08.56 | 41.3122 | 28.8718 | 1.3 | Patlatma |
| 91 | 14.06.2018 | 09:24:54.05 | 41.2902 | 28.8873 | 1.3 | Patlatma |
| 92 | 02.07.2018 | 09:37:00.13 | 41.2035 | 28.8520 | 1.0 | Patlatma |
| 93 | 04.07.2018 | 09:43:26.31 | 41.2685 | 28.7097 | 0.9 | Patlatma |
| 94 | 05.07.2018 | 09:35:55.36 | 41.1942 | 28.8082 | 0.9 | Patlatma |
| 95 | 10.07.2018 | 09:39:12.58 | 41.2612 | 28.7073 | 1.7 | Patlatma |
| 96 | 11.07.2018 | 09:40:01.99 | 41.2900 | 28.6965 | 1.7 | Patlatma |
| 97 | 15.07.2018 | 07:42:32.72 | 41.1905 | 28.8410 | 0.7 | Patlatma |
| 98 | 18.07.2018 | 09:57:02.17 | 41.2197 | 28.8450 | 1.2 | Patlatma |
| 99 | 19.07.2018 | 09:24:59.01 | 41.2113 | 28.8402 | 1.2 | Patlatma |
| 100 | 01.08.2018 | 14:50:18.13 | 41.1193 | 28.8912 | 1.6 | Patlatma |
| 101 | 01.08.2018 | 09:44:51.54 | 41.2065 | 28.8273 | 1.1 | Deprem |
| 102 | 02.08.2018 | 14:47:33.58 | 41.1427 | 28.9172 | 1.5 | Patlatma |
| 103 | 03.08.2018 | 09:47:42.65 | 41.0980 | 28.8717 | 1.6 | Patlatma |
| 104 | 04.08.2018 | 14:45:43.63 | 41.1020 | 28.8783 | 1.7 | Patlatma |
| 105 | 08.08.2018 | 15:38:02.80 | 41.1170 | 28.8503 | 1.1 | Patlatma |
| 106 | 08.08.2018 | 09:46:49.67 | 41.5045 | 28.3728 | 1.3 | Patlatma |
| 107 | 08.08.2018 | 09:34:35.62 | 41.1927 | 28.8343 | 0.8 | Patlatma |
| 108 | 09.08.2018 | 14:46:12.21 | 41.1158 | 28.8773 | 1.1 | Patlatma |
| 109 | 09.08.2018 | 14:45:22.04 | 41.1112 | 28.8518 | 0.9 | Patlatma |
| 110 | 13.08.2018 | 14:44:47.63 | 41.1063 | 28.8827 | 2.0 | Patlatma |
| 111 | 14.08.2018 | 09:32:51.73 | 41.1988 | 28.8438 | 1.1 | Patlatma |
| 112 | 15.08.2018 | 14:45:30.53 | 41.1353 | 28.8680 | 1.1 | Patlatma |
| 113 | 15.08.2018 | 09:41:06.91 | 41.2115 | 28.8227 | 1.4 | Patlatma |
| 114 | 17.08.2018 | 09:41:13.58 | 41.0897 | 28.8775 | 0.8 | Patlatma |
| 115 | 17.08.2018 | 09:40:25.38 | 41.1225 | 28.8603 | 1.0 | Patlatma |
| 116 | 18.08.2018 | 10:01:47.47 | 41.1105 | 28.8490 | 1.1 | Patlatma |
| 117 | 24.08.2018 | 09:39:23.95 | 41.1892 | 28.8487 | 1.3 | Patlatma |
| 118 | 27.08.2018 | 09:30:54.70 | 41.1915 | 28.8233 | 1.2 | Patlatma |
| 119 | 03.09.2018 | 10:11:07.00 | 41.2250 | 28.8328 | 1.1 | Patlatma |
| 120 | 11.09.2018 | 09:57:28.44 | 41.2078 | 28.8122 | 1.0 | Patlatma |
| 121 | 11.09.2018 | 09:33:15.32 | 41.2015 | 28.8128 | 0.8 | Patlatma |
| 122 | 23.09.2018 | 09:43:08.02 | 41.1160 | 28.8748 | 1.3 | Patlatma |
| 123 | 23.09.2018 | 09:36:36.20 | 41.1727 | 28.8257 | 0.6 | Patlatma |
| 124 | 10.10.2018 | 09:41:17.90 | 41.1797 | 28.8373 | 1.1 | Patlatma |
| 125 | 10.10.2018 | 09:33:36.05 | 41.1985 | 28.8303 | 1.0 | Patlatma |
| 126 | 11.10.2018 | 09:31:41.66 | 41.2153 | 28.8415 | 1.3 | Patlatma |
| 127 | 18.10.2018 | 09:25:08.22 | 41.1922 | 28.8260 | 1.0 | Patlatma |
| 128 | 20.10.2018 | 09:44:37.47 | 41.1190 | 28.8513 | 0.9 | Patlatma |
| 129 | 21.10.2018 | 09:29:43.02 | 41.1965 | 28.8357 | 0.9 | Patlatma |
| 130 | 03.11.2018 | 10:05:19.05 | 41.1187 | 28.8615 | 0.9 | Patlatma |
| 131 | 26.11.2018 | 09:49:11.02 | 41.1083 | 28.8603 | 1.5 | Patlatma |
| 132 | 02.12.2018 | 14:34:01.77 | 41.1100 | 28.8777 | 0.7 | Patlatma |
| 133 | 04.01.2019 | 12:10:43.46 | 41.0955 | 28.9063 | 2.5 | Patlatma |
| 134 | 08.01.2019 | 11:50:23.87 | 41.1958 | 28.7077 | 1.4 | Patlatma |
| 135 | 01.02.2019 | 15:35:26.20 | 41.1257 | 28.7018 | 1.0 | Patlatma |
| 136 | 14.03.2019 | 16:02:09.39 | 41.1368 | 28.7148 | 1.4 | Patlatma |
| 137 | 25.03.2019 | 17:06:59.33 | 41.1477 | 28.7127 | 1.5 | Patlatma |
| 138 | 01.07.2019 | 09:45:44.77 | 41.1607 | 28.7877 | 0.9 | Patlatma |
| 139 | 02.07.2019 | 09:42:42.30 | 41.1802 | 28.7932 | 1.0 | Patlatma |
| 140 | 31.07.2019 | 16:31:44.68 | 41.2142 | 28.8925 | 1.5 | Patlatma |
| 141 | 03.10.2019 | 09:43:35.40 | 41.0753 | 28.8967 | 1.4 | Patlatma |
| 142 | 04.11.2019 | 14:43:01.61 | 41.2512 | 28.8857 | 1.4 | Patlatma |
| 143 | 10.12.2019 | 09:55:07.47 | 41.1557 | 28.8085 | 0.9 | Patlatma |
| 144 | 11.12.2019 | 14:44:05.58 | 41.2383 | 28.7737 | 0.8 | Patlatma |
| 145 | 23.12.2019 | 09:37:33.17 | 41.1827 | 28.7785 | 1.0 | Patlatma |
| 146 | 04.02.2020 | 09:45:39.76 | 41.1197 | 28.8512 | 1.2 | Patlatma |
| 147 | 18.02.2020 | 11:30:37.43 | 41.1117 | 28.9610 | 0.8 | Patlatma |
| 148 | 20.02.2020 | 09:17:50.41 | 41.2597 | 28.8807 | 1.3 | Patlatma |
| 149 | 26.02.2020 | 14:51:48.75 | 41.1773 | 28.7628 | 1.1 | Patlatma |
| 150 | 06.03.2020 | 15:18:25.71 | 41.0877 | 28.9672 | 0.8 | Patlatma |
| 151 | 21.03.2020 | 10:00:26.33 | 41.1927 | 28.7870 | 1.4 | Patlatma |
| 152 | 30.03.2020 | 10:03:14.19 | 41.2532 | 28.8858 | 1.2 | Patlatma |
| 153 | 30.03.2020 | 09:32:36.76 | 41.1577 | 28.7528 | 0.8 | Patlatma |
| 154 | 28.04.2020 | 10:13:20.90 | 41.1012 | 28.8620 | 1.1 | Patlatma |
| 155 | 29.04.2020 | 10:46:43.87 | 41.5010 | 28.3947 | 1.2 | Patlatma |
| 156 | 30.04.2020 | 14:44:42.30 | 41.1827 | 28.7678 | 0.9 | Patlatma |
| 157 | 02.05.2020 | 09:47:28.60 | 41.1500 | 28.7878 | 0.8 | Patlatma |

| | | | | | | |
|-----|------------|-------------|---------|---------|-----|--------|
| 158 | 01.06.2020 | 14:43:21.06 | 41.1325 | 28.7468 | 0.9 | Deprem |
|-----|------------|-------------|---------|---------|-----|--------|

Ek 1. (devamı)

| No | Oluş Tarihi | Oluş Zamanı | Enlem (°K) | Boylam (°D) | Büyüklik (M) | Kaynak Türü |
|-----|-------------|-------------|------------|-------------|--------------|-------------|
| 159 | 11.06.2020 | 14:55:53.89 | 41.1390 | 28.8407 | 0.7 | Patlatma |
| 160 | 16.07.2020 | 07:52:33.13 | 41.1617 | 28.7780 | 0.7 | Patlatma |
| 161 | 24.09.2020 | 14:49:23.02 | 41.1323 | 28.9720 | 0.9 | Patlatma |
| 162 | 02.10.2020 | 13:58:59.41 | 41.2070 | 28.6898 | 0.8 | Patlatma |
| 163 | 06.10.2020 | 10:12:54.14 | 41.1827 | 28.8203 | 0.9 | Patlatma |
| 164 | 22.10.2020 | 14:02:54.96 | 41.2032 | 28.7215 | 1.0 | Patlatma |
| 165 | 17.11.2020 | 09:11:47.50 | 41.1555 | 28.7062 | 1.2 | Patlatma |
| 166 | 24.11.2020 | 08:46:20.05 | 41.0995 | 28.9858 | 0.9 | Patlatma |
| 167 | 11.01.2021 | 14:11:28.53 | 41.1120 | 28.7315 | 1.4 | Patlatma |
| 168 | 12.01.2021 | 09:41:35.03 | 41.1560 | 28.7043 | 1.4 | Patlatma |
| 169 | 31.01.2021 | 17:18:23.41 | 41.1133 | 28.9535 | 1.3 | Patlatma |
| 170 | 04.02.2021 | 17:25:24.78 | 41.1117 | 28.9712 | 1.0 | Patlatma |
| 171 | 11.02.2021 | 14:17:36.47 | 41.1407 | 28.7487 | 1.2 | Patlatma |
| 172 | 27.03.2021 | 10:08:33.06 | 41.1612 | 28.7140 | 1.5 | Patlatma |
| 173 | 03.04.2021 | 15:49:02.69 | 41.1072 | 28.9713 | 1.1 | Patlatma |
| 174 | 06.04.2021 | 16:03:28.49 | 41.1175 | 28.9643 | 1.2 | Patlatma |
| 175 | 17.04.2021 | 11:32:12.39 | 41.1827 | 28.7063 | 1.3 | Patlatma |
| 176 | 23.04.2021 | 15:50:18.75 | 41.1080 | 28.9870 | 0.8 | Patlatma |
| 177 | 23.04.2021 | 15:39:33.28 | 41.1018 | 28.9595 | 0.7 | Patlatma |
| 178 | 16.05.2021 | 13:20:19.75 | 41.5168 | 28.4682 | 1.4 | Deprem |
| 179 | 28.05.2021 | 09:45:22.43 | 41.2202 | 28.7110 | 1.3 | Patlatma |
| 180 | 03.06.2021 | 10:01:23.25 | 41.1787 | 28.7645 | 1.2 | Patlatma |
| 181 | 09.06.2021 | 15:13:44.12 | 41.1588 | 28.7585 | 1.4 | Deprem |
| 182 | 11.06.2021 | 14:49:37.44 | 41.1827 | 28.7917 | 1.1 | Patlatma |
| 183 | 22.06.2021 | 15:33:31.92 | 41.1312 | 28.9702 | 0.9 | Patlatma |
| 184 | 16.07.2021 | 15:30:04.70 | 41.1623 | 28.7578 | 0.7 | Patlatma |
| 185 | 20.10.2021 | 15:41:18.28 | 41.1113 | 28.9622 | 0.8 | Patlatma |
| 186 | 02.11.2021 | 14:59:23.50 | 41.2048 | 28.8243 | 1.1 | Patlatma |
| 187 | 02.11.2021 | 07:50:55.32 | 41.1827 | 28.7105 | 1.1 | Patlatma |
| 188 | 19.11.2021 | 07:23:35.01 | 40.9960 | 28.8030 | 2.0 | Deprem |
| 189 | 19.11.2021 | 14:56:12.12 | 41.1123 | 28.9882 | 0.9 | Patlatma |
| 190 | 20.11.2021 | 14:55:18.71 | 41.1180 | 28.9362 | 1.3 | Patlatma |
| 191 | 23.11.2021 | 14:48:56.94 | 41.1810 | 28.9310 | 1.3 | Patlatma |
| 192 | 29.11.2021 | 14:54:38.31 | 41.0847 | 28.9607 | 0.9 | Patlatma |
| 193 | 01.12.2021 | 01:24:56.67 | 41.1443 | 28.8745 | 1.2 | Deprem |
| 194 | 02.12.2021 | 15:07:08.91 | 41.1860 | 28.8180 | 1.0 | Patlatma |
| 195 | 04.12.2021 | 14:43:14.86 | 41.0985 | 28.9940 | 1.0 | Patlatma |